

К Айманов  
Б.М. Вахольский  
Г.И. Рах



Э

ЛЕКТРОНИКАНЫҢ  
ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

К. АЙМАНОВ, Б. М. ВАХОЛЬСКИЙ, Г. И. РАХ

# ЭЛЕКТРОНИКАНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

*ФАКУЛЬТАТИВТІК КУРС*

Орта мектеп оқушыларына арналған құрал



«МЕКТЕП» БАСПАСЫ  
АЛМАТЫ-1971

Бұл оқу құралы СССР Оқу министрлігі бекіткен «Электрониканың физикалық негіздері» деген факультативтік курс программасына сәйкес жалпы білім беретін орта мектептердің оныншы класс оқушыларына арналған.

6—5  
259—71М

*Қ Айманов, Б. М. Вахольский, Г. И. Рах*

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

*Факультативный курс*

(На казахском языке)

Редактор *Қ. Жанузакова*

Технический редактор *А. Бабина.*

Художественный редактор *В. Логинов.*

Корректор *Б. Туякбаева.*

Сдано в набор 28/VII 1971 г. Подписано к печати 11/XI-1971 г.  
70×100<sup>1</sup>/<sub>32</sub> Объем 5,625(7,31) п л Уч-изд л 7,314 Тираж 6500 экз.  
Цена 26 коп Изд № 75

Издательство «Мектеп», Алма Ата, ул Карла Маркса, 99а  
Заказ № 667 Гипография № 2 Главполиграфпрома Госкомитета  
Совета Министров КазССР по печати, г Алма Ата, ул Карла Маркса, 63

*«Атом сияқты, электрон да сарқылмайды,...»*

В. И. Ленин. Шығ., 14 т.,  
285-бет (қазақшасы)

## КІРІСПЕ

Электроника — ғылым мен техниканың жаңа саласы. Алғашқы электрондық приборлар тек осы ғасырдың бас кезінде ғана шыға бастады. Алайда электроника қарыштап дамып, ғылым мен техниканың, күнделікті өмірдің сала-саласында өріс алып орын тепті.

Радиобайланыс, радиобағар, дыбысты кино, космос корабльдерін және жасанды спутниктерді басқару, космостан сигналдар қабылдау, планеталар бетін фотоға түсіру, мұхит тұңғиықтарын және космос кеңістіктерін радиозондылау, байланыс спутниктерін және космос корабльдерін пайдаланып телебағарларды беру және радиобайланыс жасау, электрондық дефектоскопия, жоғары жиілікті терапия, телемеханикалық және кибернетикалық тетіктерді, шапшаң әрекет етуші есептеу машиналарын жасау, міне, осылардың бәрін электрониканың арқасында іс жүзіне асыруға мүмкіншілік туып отыр. Біздің еліміздің халық шаруашылығында электроника жоспарлаудың тиімді тәсілдерін пайдалануға мүмкіндік береді, күрделі өндіріс процестерін басқаруға көмектеседі. Электрониканың маңызы КПСС Программасы сияқты тарихи документте де атап көрсетілген.

Электрониканың жетістіктері — ғылым мен техниканың түрлі салаларының творчестволық бірлесуінің, отандық және шетелдік көрнекті ғалымдар мен кон-

структорлар еңбегінің нәтижесі болып табылады. Электрониканың дамуына жол ашқан жағдайдың бірі *Александр Степанович Поповтың* 1895 жылы радионы ойлап табуы болды. Атап айтқанда, радиотехника өндірістік электрониканың бірінші «тұтынушысына» айналды.

Электрониканың дамуына электрондық лампыларды ойлап табушылар — Дж. Флеминг, Вайнтрауб, Ли де Форест, М. А. Бонч-Бруевич, фотоэффект құбылысын зерттеуші орыс ғалымы А. Г. Столетов және алғашқы техникалық жарамды фотоэлементтерді жасаушы конструкторлар — Ю. Эльстер және Г. Гейтель, электрон-сәулелі түтіктерді жасаушылар Ф. Браун, Б. Л. Розинг, В. К. Зворыкин, А. П. Константинов, П. Ф. Тимофеев, Л. А. Кубецкий, П. В. Шмаков, осы заманғы шала өткізгішті приборлардың алғашқы үлгісін жасаушы конструктор О. В. Лосев, транзистор жасаушылар Д. Бардин, В. Браттейн және В. Шокли үлкен үлес қосты.

Электрониканың дамуында совет ғалымдары академиктер — Н. Д. Папалекси, А. И. Берг, А. Ф. Иоффе, Л. И. Мандельштам, И. Е. Тамм, Б. А. Введенский, В. П. Вологдин, А. Л. Минцтің сіңірген еңбектері зор. Совет радиофизиктері мен радиотехниктерінің аса құнды еңбектері үшін үкімет наградалары, мемлекеттік және арнаулы сыйлықтар берілді. Квант генераторлары мен күшейткіштер теориясын жасап, оны зерттегені үшін совет физиктері Н. Г. Басов пен А. И. Прохоровқа 1964 жылы ғылым және техника саласында ашқан аса көрнекті жаңалығы үшін берілетін халықаралық сыйлық — Нобель сыйлығы — берілді.

**Электроника — электрондық, иондық және шала өткізгіштік приборлардың жұмыс принциптерін, құрылысын және қолданылуын зерттейді.**

Физикалық электротехника электровакуумдық және шала өткізгіштік приборлардың жұмыс принциpte-

рінің физикалық негізін зерттейді, ал бұл приборларды конструкциялау, жасап шығару технологиясы және пайдалану мәселесі техникалық электроникаға жатады.

Электрондық вакуумды приборлардың жұмысы вакуумдағы электр тогы заңдылықтарына негізделген, ал иондық приборларда газдардағы электр разрядтарының алуан түрлері пайдаланылады. Шала өткізгіштік приборлардың жұмыс принциптері электрондық-кемтік ауысудың электрлік қасиеттерімен байланысты.

Электроникада вакуум ұғымы — прибор баллонындағы газдардың сиретілуі өткізгіштік электрондардың нақтысында сол газ атомдарымен соқтықпайтындай дәрежеге жетуімен анықталатын ұғым. Электрондық вакуумды приборларда (электрондық лампылар, электрон-сәулелі түтіктер, вакуумдық фотоэлементтер) газдың қысымы  $10^{-6}$  тор<sup>1</sup> шамасында, тіпті одан да кем болады. Иондық приборларда (газотрондар, сынапты вентильдер, газ толтырылған фотоэлементтер, стабилитрондар, тиратрондар) газдың қысымы электрондық приборларға қарағанда әжептәуір жоғары:  $10^{-3}$  тор және одан да көп. Тіпті атмосфералық қысымнан да жоғары қысым түсіретіндей етіп газ толтырылған приборлар да (разрядниктер) болады.

Шала өткізгіштік приборларға кристалл диодтар, транзисторлар (триодтар), тетродтар, фотодиодтар, шала өткізгіштік терморезисторлар, термоэлементтер жатады.

Разрядсыз өткізгішті приборлар тобын жеке атап кетуге болады. Олар: қыздыру лампылары, бареттерлер, вакуумдық термоэлементтер.

---

<sup>1</sup> 1 тор — итальян ғалымы Эванджелеста Торричеллидің құрметіне осылайша аталған қысым бірлігі.

1 тор = 1 мм сын. бағ.

Көбіне приборларды өздерінің атқаратын қызметтеріне қарай (генераторлық, күшейткіш, түзеткіш, детекторлық түрлендіргіш, индикаторлық приборлар), жұмыс режиміне қарай (импульстық, ұзақ жұмыс істейтін приборлар), электр тогына әсеріне қарай (басқарылатын және басқарылмайтын приборлар), электродтар санына қарай (екі электродты, үш электродты, көп электродты приборлар), жұмыстың жиілігінің спектріне қарай (төмен жиілікті, жоғары жиілікті, аса жоғары жиілікті приборлар), катодтың электрондық эмиссиясының түріне қарай (термоэлектрондық, фотоэлектрондық приборлар) деп те түр-түрге бөледі.

---

## АТОМНЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ ЖӘНЕ ЗОНАЛЫҚ ТЕОРИЯ ТУРАЛЫ ҰҒЫМ

1. Электрондық, иондық және шала өткізгіштік приборлардың жұмысы — заттардың құрылысының ерекшеліктерімен, олардың электрлік қасиеттерімен тығыз байланысты.

Зат құрылысының молекула-кинетикалық теориясы негіздерімен біз химия және физика сабақтарында танысқанбыз. Заттың химиялық бөліну шегі атом екендігін естеріңізге сала кетеміз. Атап айтқанда, бұдан 2000 жыл бұрын ғалымдар атомды заттардың бөлінбейтін бөлшегі деп есептеді. Гректің «атомос» деген сөзі «бөлінбейді» дегенді білдіреді. Алайда өткен ғасырдың екінші жартысында ашылған ұлы жаңалықтар — Менделеевтің периодтық заңы, катод және рентген сәулелері, термоэлектрондық эмиссия, фотоэффект, радиоактивтілік — ғалымдарды заттардың құрылысы туралы көзқарастарын қайта қарауға мәжбүр етті.

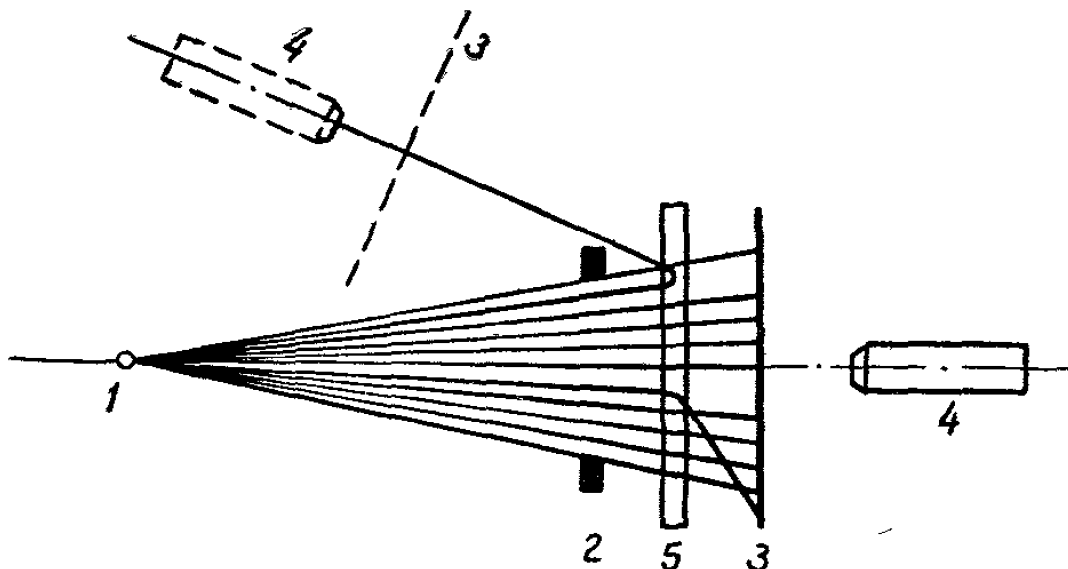
Бұған дейін тәжірибелер жүзінде жинақталған мәліметтер атом құрылысының күрделі екендігін, ол ерекше қасиеттері бар бөлшектерден тұратынын, ол бөлшектер бір-біріне әсер ететінін көрсетті.

Сөйтіп, атомды байыптап зерттеу, сол арқылы оның құрылысы туралы ғылыми негізделген теорияны жасау қажеттігі туды.

### § 1. Резерфордтың альфа-бөлшектердің шашырауы жөніндегі тәжірибесі

2. Радиоактивтілік құбылысы ашылысымен-ақ ағылшын ғалымы *Эрнест Резерфорд* альфа, бета және гамма-сәулелердің табиғатын және қасиеттерін зерт-





1-сурет. Резерфордтың альфа-бөлшектердің шашырауы жөніндегі тәжірибесінің схемасы

1 — альфа-бөлшектер шығаратын заттар (радий препаратымен қапталған пластинка), 2 — диафрагма, 3 — күкіртті мырыштан жасалған экран, 4 — микроскоп, 5 — сыналатын заттың пластинкасы

теуге кірісті. Альфа-сәулелер — гелий атомдарының оң зарядталған ядролар ағыны, бета-сәулелер — электрондар ағыны, ал гамма-сәулелер табиғаты — электромагниттік сәулелер болып табылады.

3. Резерфорд және оның қызметтес серіктері Гейгер, Марсден, Чадвик 1906 жылы альфа-бөлшектердің заттар арқылы өтуін зерттеу жөнінде тәжірибелер жүргізе бастады.

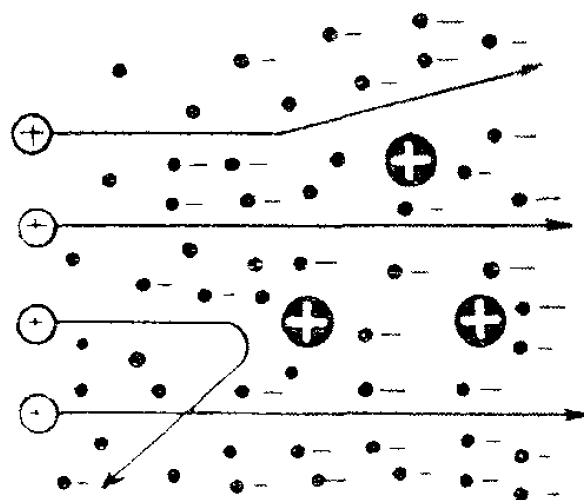
Ол тәжірибелердің идеясын 1-суреттен түсінуге болады. Альфа-бөлшектерін шығаратын көзден (1) бөлшектер диафрагма (2) арқылы жіңішке шок түрінде өтеді де, люминесценциялаушы затпен қапталған экранға (3) келіп түседі, сол түскен жерінде жарқылдаған дақ (сцинтилляция) пайда болады. Бақылау және жарқыл санын есептеу микроскоптың (4) көмегімен орындалады.

Егер диафрагма мен экранның арасына зерттелетін заттан жасалған өте жұқа пластинканы, мысалы

жұқа алтын пластинканы орналастыратын болсақ, онда экрандағы сцинтилляцияның жарқыл дағы көмескіленеді, оның жиегі шайылғандай болады. Ал дақтан тысқары жерлерде жекелеген сирек жарқылдар пайда болады. Бұл жарқылдарды өз траекторияларын өзгерткен, яғни шашыраған, альфа-бөлшектер тудырған. Кейбір альфа-бөлшектер бағытынан  $90^\circ$ -тан да артық ауытқиды.

4. Резерфорд тәжірибесінде алтын пластинка арқылы көптеген альфа-бөлшектер өткен болып шықты. Бірақ қатты денелердің атомдары бір-бірімен тығыз орналасқан. Атап айтсақ, қалыңдығы 1 микрон алтын пленка атомдардың 3300 қабатынан тұрады. Демек, альфа-бөлшектер заттың атомдары арқылы өткен. Ал кейбір альфа-бөлшектердің траекторияларын өзгертуін заттың электрондарымен өз ара әсерлесуінен деп түсіндіруге болмайды, өйткені электрон массасы альфа-бөлшектер массасынан шамамен 8000 есе аз. Олай болса, альфа-бөлшектердің шашырауын атомдардың оң зарядталған, нығыз массалы бөлшектерінің әсері тудырған деп жорамалдауымыз ғана қалды (2-сурет). Міне, бұл ерекше бөлшектерді Резерфорд атомдар ядролары деп атады.

Ал іс жүзінде енді альфа бөлшектердің көпшілігінің алтын пластинкадан нақтысында шашырамай өтіп кетуі атомда ядроның өте аз көлемді алып тұратынын көрсетеді.



2-сурет Альфа-бөлшектердің шашырауы.

(+) — таңбасы бар ақ дөңгелектер — альфа-бөлшектер, (+) — таңбасы бар қара дөңгелектер — атомдар ядросы; (—) — таңбасы бар нүктелер — электрондар

## § 2. Атом құрылысының планетарлық моделі

5. Резерфорд көптеген тәжірибелердің нәтижелерін қорыта келіп, 1911 жылы атом құрылысының ядролық моделін: атомның центрінде өлшемі тіпті шамалы ғана, оң зарядталған ядро болады да, ал оның айналасында айтарлықтай қашықтықта теріс зарядталған бөлшектер — электрондар — айналып жүреді деген тұжырым ұсынды. Міне, мұндай модельді планетарлық модель деп атайды, өйткені ол планеталық системаға ұқсайды.

Атомның өлшемі ядроның өлшемінен ондаған мың есе артық. Мысалы, сутегі атомы ядросының радиусы  $5 \cdot 10^{-16}$  м, ал электронның ядродан ең мүмкін болатын қашықтығы  $0,53 \cdot 10^{-10}$  м. Демек, біздің мысалымызда атомның өлшемі ядроның өлшемінен шамамен 100 000 есе көп, электрон массасы сутегі атомы ядросының массасынан 1836 есе аз.

6. Тәжірибе атомның қалыпты жағдайда электрлік бейтарап екенін көрсетеді. Демек, бұл ядроның оң заряды электрондардың теріс зарядымен компенсацияланады деген сөз:

$$q_0 = eZ, \quad (1)$$

мұндағы  $e$  — электрон заряды ( $1,60 \cdot 10^{-19}$  к),  $Z$  — атомдағы электрондардың саны, ол берілген элементтің Менделеев таблицасындағы реттік нөміріне тең. Мысалы, гелий элементінің ( $Z=2$ ) бейтарап атомы ядросының айналасында екі электрон, ал бор атомында ( $Z=5$ ) бес электрон айналып жүреді.

Ядро зарядтарының шамасын анықтау мақсатымен Чадвик жасаған алғашқы тәжірибелер тәжірибе жүзінде табылған деректердің теориялық мәліметтерге сәйкес келетінін көрсетті.

### § 3. Резерфорд теориясының кемістігі

7. Барлық элементтердің, радиоактивтілерінен басқаларының, атомдары өте орнықты. Бірақ та Резерфорд теориясы бойынша құрылған атом тіпті де орнықсыз система болған болар еді. Шынында да, электрон ядроны айнала үдеумен (центрге тартқыш) қозғалады. Демек, бұл — айнымалы электр тогы деген және атом кеңістікке таралатын электромагниттік толқындардың көзі болып табылады деген сөз. Олай болса, энергияны үздіксіз шығарып тұру салдарынан электрон кинетикалық энергиясынан біртіндеп айрылып, ақыр соңында ядроға құлаған болар еді. Басқаша айтқанда, атомдардың электрон қабықшалары жойылып, атом өзінің физикалық және химиялық қасиеттерін жоғалтар еді. Алайда, бұл планетарлық теорияның өзіне және тәжірибе фактілеріне қайшы келеді.

Қызған дене (мысалы, газ) сәуле шығарады. Бұл сәуле — атом шығарып тұрған электромагниттік толқындар.

Экранға үш жақты шыны призма арқылы ақ жарық шоғын бағыттасақ, экранда түрлі түсті жолақ (спектр) пайда болады. Әр түске белгілі бір электромагниттік толқынның ұзындығы сәйкес келеді. Егер атомдағы электрон энергиясын жоғалтып ядроға жақындайтын болса, онда оның айналуы баяулайды. Мұндайда атом жиілігі үздіксіз кемитін электромагниттік толқындар шығарады. Бұл құбылыс кезінде экранда бір түстің екінші бір түске жайлап ауысуы, яғни тұтас спектр шығуы байқалуға тиіс. Ал тәжірибе қыздырылған газдың спектрі бір-бірінен қара жолақтармен ажыраған түсті сызықтар — сызықтық спектрлер — болатындығын көрсетеді.

Резерфорд теориясына сүйеніп, фотоэффект құбылысын, атомдардың энергияларды белгілі бір порциялармен (кванттармен) жұту және шығару құбы-

мысын, атомдардың қозуы мен ионизациялануын, сондай-ақ басқа да бірнеше құбылыстарды түсіндіруге болмайды.

#### § 4. Бордың кванттық постулаты

8. XX ғасырдың басында ғалымдарға классикалық физика Резерфорд теориясының кемістіктерін түзете алмайтыны, ол үшін жаңа физикалық түсініктер мен ұғымдар керек екендігі айқын болды.

Осыдан келіп, атомдар мен молекулалар әлемінде (микро — әлем деп аталған әлемде) **кванттық механика** заңдары орын алатыны айқындалды.

Кванттық теорияның ерекшелігі үздіксіз физикалық процестер мен шамалардан үздікті, дискретті процестер мен шамаларға көшуде болып табылады. Мысалы, кванттық механика атом энергияны үздіксіз шығарып және жұтып тұрмайды, ол белгілі бір порциялармен — кванттармен — шығарады не жұтады деп түсіндіреді. Ал электромагниттік энергияның кванттары — **фотондар** бөлшектердің (корпускулдардың) толқындық қасиеттеріне ие болады. Фотон энергиясы:

$$W = h\nu. \quad (2)$$

Бұл формуладағы:

$h$  — Макс Планк енгізген және оның құрметіне Планк тұрақтысы деп аталған, әлемдік константа.

$$(h = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ дж} \cdot \text{сек}),$$

$\nu$  — жиілік.

Атом физикасында энергия электронвольтпен өлшенеді.

Бір электронвольт дегеніміз заряды электрон зарядына тең бөлшектің электр өрісінің потенциалдар

айырымы 1 вольтке тең болатын екі нүктесінің арасында орын ауыстырғанда алатын энергиясы:

$$1 \text{ эв} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Бұдан ірі бірлік бар, ол миллион электронвольт (мегаэлектронвольт)

$$1 \text{ Мэв} = 10^6 \text{ эв.}$$

9. Дания физигі *Нильс Бор* кванттық механика идеясын пайдаланып, 1913 жылы Резерфорд теориясын жетілдіруге мүмкіндік берген постулатын ұсынды.

**Бірінші постулаты:** электрон атом ядросы айналасында электрондардың қозғалыс мөлшерінің моменті тек  $\frac{h}{2\pi}$  шамасының бүтін еселігіне тең болатын орбита бойымен ғана айнала алады, яғни

$$mvr = n \frac{h}{2\pi}. \quad (3)$$

Бұл өрнектегі:

$m$  — электрон массасы (0,00055 м. а. б. немесе  $9,11 \cdot 10^{-31}$  кг),

$v$  — электрон жылдамдығы,

$r$  — орбита радиусы

$h$  — Планк тұрақтысы,  $n = 1, 2, 3, \dots$

Сөйтіп, атомда электрон кез келген орбита бойымен қозғалмай, белгілі бір, «**рұқсат етілетін**» орбита бойымен қозғалады. Қалған орбиталардың бәрі де «**тыйым салынған**» орбиталар болып табылады, оларда электрондар орналасуға тиісті емес.

Осы заманғы физика атомдағы электрон тек қана «**рұқсат етілген**» энергетикалық күйде ғана тұра алады дейді.

**Екінші постулаты:** электрон мүмкін болатын квант орбиталарының бірімен қозғалғанда атом энергия шығармайды. Атом электромагниттік энергия квантта-

рын электрон ядродан алысырақ орбитадан оған жақынырақ орбитаға ауысқан кезде шығарады.

Басқаша айтқанда, егер электрондар стационарлық (рұқсат етілген) энергетикалық күйде болса, онда атом энергия шығармайды, энергия тек электрон жоғарырақ энергетикалық күйден төменірек күйге көшкенде ғана шығады.

10. Бордың екінші постулаты бойынша, электронның энергиясы ядроға жақын орбитадан гөрі қашық жатқан орбитада көп болады. Бұл түсінікті де: электрон ядродан неғұрлым қашық болса, оны атом шегінде ұстап тұратын энергия да сонша көп болады.

Бұл постулат атомның энергияны жұту және шығару механизмін түсіндіреді. Атомдағы электрон сырттан алған энергия есебінен (жарықтандыру, қыздыру, электр өрісі әсері) жаңа, энергетикалық жоғары жағдайға көшуі мүмкін. Мұнда атом қозған күйге келеді. Бірақ оның бұл күйі өте орнықсыз, ол секундтың миллиардтаған үлесіндей ғана созылады. Сөйтіп, электрон өзінің бұрынғы энергетикалық жағдайына көшеді де, бұл кезде электромагниттік энергия кванттары шығарылады. Оның формуласы:

$$h\nu = W_{n+1} - W_n \quad (4)$$

мұндағы  $W_n$ ,  $W_{n+1}$  — бірінші және екінші жағдайға сәйкес атом энергиясы.

(4) формуланы пайдаланып шығарылған электромагниттік толқындар жиілігін мына формуламен есептеуге болады:

$$\nu = \frac{W_{n+1} - W_n}{h}.$$

## § 5. Атомның энергетикалық деңгейлері

11. Біз атомдардың энергияны белгілі бір порциялармен — кванттармен — жұтатынын және шығаратынын тағайындадық. Атомның ішкі энергиясы тек

дискретті түрде өзгере алады және әрбір химиялық элементтің атомдарына тән тек «рұқсат етілген» мәнге ие болады.

12. Электронның атомдағы мүмкін болатын энергетикалық күйін энергетикалық деңгей деп атайды. Бұл деңгейлердің жиынтығы энергетикалық диаграмма түзеді.

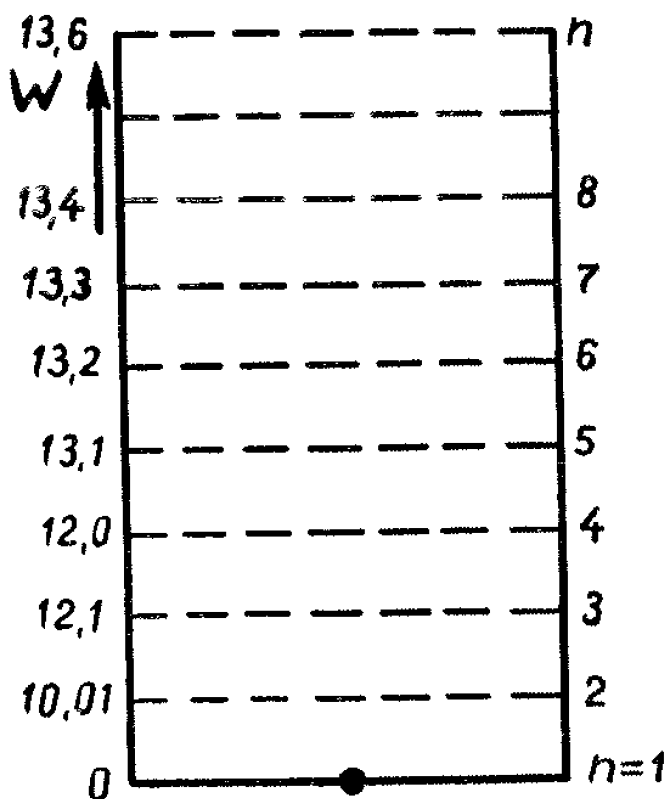
Сутегі атомының энергетикалық диаграммасы 3-суретте кескінделген. Онда

рұқсат етілген энергетикалық деңгейлер шартты түрде түзу сызықтармен кескінделген. Олар бір-бірінен энергияның электрон үшін рұқсат етілмеген мәндері жасайтын аралықтармен ажыраған.

Төменгі бірінші горизонталь сызық электронның ядроға ең жақын рұқсат етілген орбитасында тұрған кезіндегі атомның қалыпты күйіне сәйкес келеді. Кейінгі сызықтар атомның қозған күйіне қатысты. Электрон бұл деңгейлерде атомға сырттан, соған жеткілікті дәрежеде, энергия берген кезде ғана бола алады.

## § 6. Франк пен Герц тәжірибелері

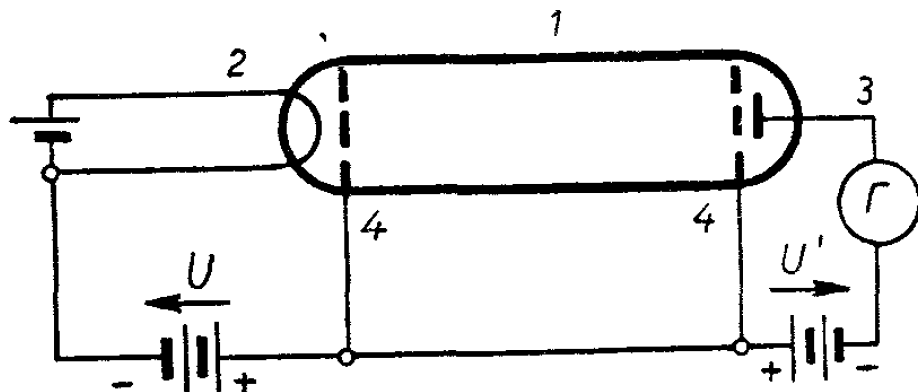
13. Атомның күйлерін кванттау көптеген тәжірибелер арқылы айқындалған. Бұл саладағы алғашқы экспериментальды зерттеулерді неміс ғалымдары — Джонсон Франк пен Густав Герц орындады (1913 ж.).



3-сурет. Сутегі атомының энергетикалық деңгейі.



Олар сынаптың сиретілген буымен толтырылған шыны түтік арқылы (4-сурет) электр тогын өткізеді. Түтіктегі электродтар арасындағы кернеуді арттыра



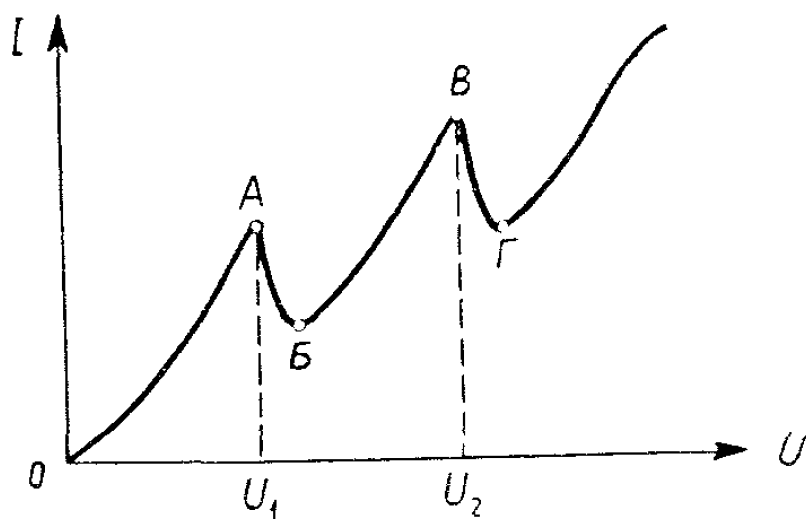
4-сурет. Франк және Герц тәжірибесінің схемасы:

1 — сынап булары бар түтік, 2 — электрондар шығаратын қызған катод, 3 — анод, 4 — торлар;  $U$  — үдетуші кернеу,  $U'$  — тежеуші кернеу

отырып, Франк пен Герц тізбектегі токтың алдымен артқанын (5-суреттегі  $OA$  участогы), кернеу  $4,9$  в болғанда, оның кілт азайғанын байқайды. Бұдан ғалымдар, бірсыпыра электронның энергиясын ( $4,9$  эв) сол сәтте сынап атомдары жұтып, сынап атомдары қозған күйге түседі деген қорытындыға келеді.

Шынында да, түтіктің электр өрісінде электрондар

$$\frac{mv^2}{2} = eU \quad (5)$$



5-сурет. Токтың үдетуші кернеудің шамасына тәуелділігін көрсететін график.

кинетикалық энергия алады. Бұл энергия 4,9 эв электронвольттан аз кезінде серпімді соқтығысу кезіндегі сияқты, сынап атомдарымен соқтығысқанда электрондар шашырайды. Электрондардың энергиясы 4,9 эв немесе одан біраз артқан жағдайда, мұндай соқтығысу серпімсіз болады да, электрон өз энергиясын сынап атомына беріп, жылдамдығынан айрылады, түтіктің анодына жете алмайды, яғни анодқа тиісті теріс потенциал беріледі (Франк және Герц тәжірибесінде — жарты вольт шамасында).

Қоздырылған сынап атомының алғашқы қалпына келуі толқын ұзындығы 2537 А° сәуле шығарумен қосарлана жүреді.

(1 А° — ангстрем =  $10^{-8}$  см немесе  $10^{-10}$  м).

Үдеткіш кернеуді одан әрі арттырғанда токтың келесі төмендеуі (*B* нүктесі) 9,8 в кернеуде болды.

Демек бұл, электрон сынаптың екі атомының бірінен соң біріне соқтығысып, 4,9 в кернеудегі сияқты, өз жылдамдығынан айрылады да, анодқа жете алмайды деген сөз. 14,7 в кернеуде де осы жағдай болады, бірақ мұнда енді үш соқтығысудан кейін осындай болады т. б.

Демек, сынап атомы энергияны 4,9 эв порциямен жұтады. Әрине, бұл шама сынап атомының энергиясы тек шекті шамаға ғана өзгертінін сипаттайды. Сынап атомы бұдан аз мөлшердегі энергияны қабылдамайды.

Бұдан әрі зерттеу, егер электрондардың энергиясы 6,7 эв, 8,3 эв т. б. асатын болса, олардың сынап атомдарымен соқтығысқанда беретін энергиясының порциялары 4,9 эв болып қана қоймай, 6,7 эв т. б., 8,3 эв. т. б. бола алатынын көрсетті.

Егер қозбаған атомда электрон энергиясы  $W_n$  болса, ал қозған атомда —  $W_{n+1}$  болса, онда атом жұтқан энергия

$$\Delta W = W_{n+1} - W_n = eU$$

$$U_k = \frac{W_{n+1} - W_n}{e} \quad (6)$$

қозу потенциалы деп аталады.

## § 7. Иондау энергиясы

14. Иондау деп бейтарап атомның электронды қосып алу немесе электронынан айрылу құбылысын айтады. Электрондарды қосып алу нәтижесінде атом теріс ионға айналады. Мұндай атомдар туралы, олардың электронға белгілі бір «жақындастығы» бар дейді. Электронды қосып алған атомның энергиясы бейтарап атомның энергиясынан біраз кем болатын көрінеді, ал бұл кем энергияны электронға жақындастық энергиясы деп атайды.

Электронынан айрылған атом оң ион деп аталады. Атомды иондауға қажетті энергия иондау энергиясы деп аталады.

Электронды ядроға жақын орбитадан алыс орбитаға көшіру үшін оған белгілі бір шамада энергия жұмсау керек, ал оны атомнан тыс жұлып шығару үшін одан да көп энергия қажет. Демек, иондау энергиясы қоздыру энергиясынан көп болады.

Кейбір газдар үшін қоздыру энергиясы мен иондау энергиясының ең аз мәндері мына таблицада келтірілген:

	Сутегі	Гелий	Сынап буы	Неон	Аргон	Ксенон
Қоздыру энергиясы (эв)	11,1	20,8	4,9	16,6	11,6	8,4
Иондау энергиясы (эв)	13,5	24,5	10,4	21,5	15,7	12,1

Электрон орбитасы ядроға неғұрлым жақын орналасқан болса, электронның ядромен байланысы соғұрлым берік болып, ол атомды иондаушы энергия да көп болады. Мысалы, көміртегі атомының сыртқы орбитасынан электронды жұлып шығару үшін 11,22 эв энергия қажет. Ал сол атомның ядромен әлдеқайда берігірек байланысқан екінші бір электронын жұлып шығару үшін атомға 24,27 эв энергия жұмсау керек т. б.

15. Иондау энергиясының электрон зарядына қатынасына тең шама **иондау потенциалы** деп аталады:

$$U_{\text{ион}} = \frac{W_{\text{ион}}}{e} \quad (7)$$

Біздің мысалымызда көміртегі атомының бірінші иондау потенциалы — 11,22 в, екіншісі — 24,27 в, үшіншісі — 47,65 в, төртіншісі — 64,22 в, бесіншісі — 389,9 в.

Сөйтіп, электронның энергетикалық деңгейі неғұрлым төмен болса, иондау потенциалы соғұрлым жоғары болады, олай болса иондау энергиясы да соғұрлым жоғары болады.

## § 8. Паули принципі

16. Швейцарияның ғалымы *Вольфганг Паули* түрлі заттардың спектрлерін зерттей отырып, атомдағы электронның энергетикалық күйіне электронның қозғалыс мөлшерінің өзіндік моменті — **спин** — айтарлықтай әсер етеді деген қорытындыға келді.

Спин ұғымын ғалымдар *Юленбек* пен *Гаудсмит* 1925 жылы енгізген болатын. Олар атомдағы электрондар ядроның айналасында ғана қозғалып қоймай, сонымен бірге зырылдауық сияқты өз осінен де айналады деген ұсыныс жасады. Ағылшынның «спин» сөзі, мағына жағынан «зырылдайды» дегенді білдіреді.

Кейіннен спин электронның және басқа элементар бөлшектердің, мысалы, массасы, немесе заряды сияқты, ерекше қасиеттерінің бірі болып табылатыны анықталды. Спинді электронның өз осінен айналатындығын сипаттайтын қасиеті деп қана түсінуге болмайды, өйткенде электронның бетіндегі жеке нүктелерінің сызықтық жылдамдығы (егер электронды шарик деп алып қарасақ) вакуумдағы жарық жылдамдығынан ( $300\,000\text{ км/сек}$ ) артық болып шығар еді. Ал салыстырмалылық теориясын жасаушы атақты неміс ғалымы *Альберт Эйнштейн* 1905 жылдың өзінде-ақ табиғатта жылдамдығы жарықтың вакуумдағы жылдамдығынан артық болатын қозғалыс жоқ екенін дәлелдеген болатын.

Спин — векторлық шама, яғни ол тек санмен ғана емес, бағытымен де сипатталады.

17. *В. Паули* 1925 жылы өзінің атақты **тыйым салу принципі**н ұсынды.

Атом үшін Паули принципі былай тұжырымдалуы мүмкін.

Атомда бірдей энергетикалық күйдегі екі электроннан артық электрон болуы мүмкін емес және олардың спиндері әр түрлі.

Паули принципі бойынша электрондардың басқаша күйде болуына тыйым салынған.

## § 9. Атом ядросы. Электрондық қабықтар

18. Қарапайым элемент — сутегі атомының ядросы **протон** деп аталады. 1932 жылға дейін ғалымдар барлық химиялық элементтердің атомдарының құрылысын протондар мен электрондардың комбинациясы арқылы түсіндіруге тырысты. Алайда, Менделеев таблицасындағы екінші элементті — гелийді зерттеудің өзінде-ақ ғалымдар бірден қайшылыққа кездесті: оның ядросының заряды екі протон зарядына тең, ал массасы төрт протон массасына тең болды.

1932 жылы жаңа бөлшек — **нейтрон** (массасы шамамен протон массасына тең, бірақ электр заряды жоқ бөлшек) ашылғаннан кейін бұл қайшылық жойылды. Сол жылы совет физигі *Д. Д. Иваненко* және одан бөлек неміс оқымыстысы *В. Гейзенберг* атом ядросының бүгінгі күнде жұрт таныған әйгілі протон-нейтрондық теорияны ұсынды.

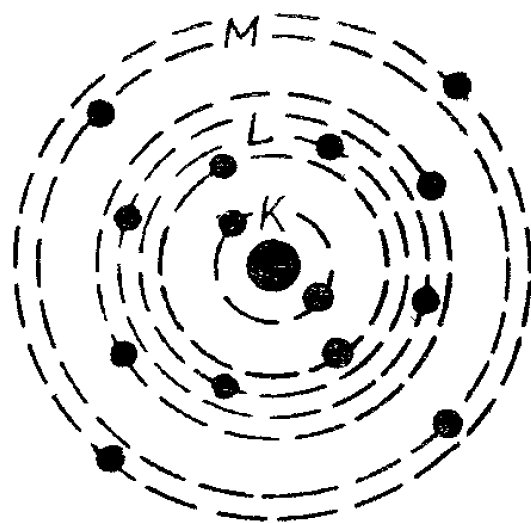
**Д. Д. Иваненконың гипотезасы бойынша барлық атомдардың (сутегінен басқа) ядролары протондар мен нейтрондардан тұрады.**

Элементтердің **протондарының саны ( $Z$ )** Менделеев таблицасындағы рет санына, ал **нуклондарының** (протондар мен нейтрондардың жалпы аты) саны элементтің бүтін бірлікке дейін дөңгелектенген атомдық салмағына тең. Бұл сан **массалық сан ( $M$ )** деп аталады. Ал бейтарап атомның ядродағы протондарының саны мен атом ядросын айналып жүретін электрондар саны тең болады. Ядролық зат төтенше тығыз болғандықтан (тығыздығы шамамен  $1,16 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$ ), атомның бүкіл массасы шын мәнінде ядрода жинақталған (көлемі  $1 \text{ см}^3$  ядролық заттан тұратын кубик Жер бетінде жүз миллион тонна тартар еді).

**19.** Ядроны айнала қозғалатын электрондар электрондық қабықтар (қабаттар) құрайды. Бұл қабаттар (6-сурет) *K, L, M, N, O, P, Q* әріптерімен белгіленеді. Алғашқы төрт қабаттың қабығындағы электрондар саны мына формула бойынша анықталады:

$$N_0 = 2n^2 \quad (8)$$

мұндағы  $n$  — қабықтардың рет саны.



6-сурет. Атомның электрондық қабығы.

Мысалы,  $K$ -қабықтағы ( $n=1$ ) электрондар саны

$$N_0 = 2 \cdot 1^2 = 2,$$

$L$ -қабықтағы ( $n=2$ ) электрондар саны

$$N_0 = 2 \cdot 2^2 = 8$$

болады т. т.

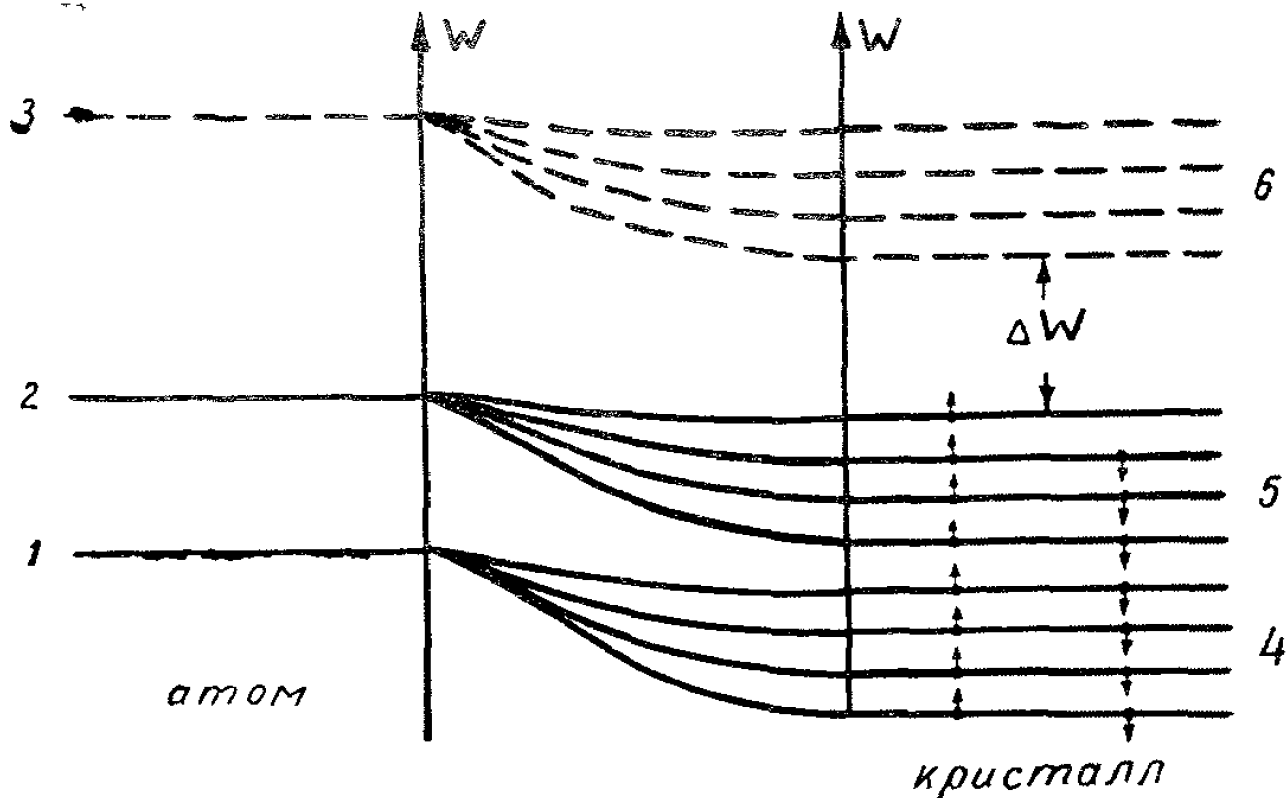
Егер сыртқы қабық электрондармен толтырылмаған болса, онда бұл қабықтың электрондары химиялық процестерге қатысады. Бұл валенттік электрондар. Инертті газдардың сыртқы қабығы электрондармен толтырылған, сондықтан олар химиялық жағынан бейтарап болады.

## § 10. Зоналық теория туралы ұғым

**20.** Сутегі атомы үшін энергетикалық диаграмма қалай құрылған болса (§ 5), ол кез келген элемент үшін де солай құрылады. Алайда, атомдағы электрондар бірі бірінен айырмашылығы өздерінің энергияларында болады, демек, Паули принципі бойынша, әрбір энергетикалық деңгейде өздерінің спиндерімен ғана өзгешеленетін тек бір немесе екі электрон ғана болады. Ең алдымен төменгі деңгей, содан соң одан жоғарғы деңгейлер толады. Қозбаған атомда ең жоғарғы деңгей бір немесе екі валенттік электронмен толған болады.

Қозу деңгейі үстінде **иондау облысы** (электронның атомды тастап шығатын кездегі энергияның мәні) жатады.

**21.** Кристалдар түзілген кезде атомдар соншалықты жақындайды да, тіпті электрондардың энергетикалық күйлеріне көршілес атомдардың электр және магнит өрістері әсер ете бастайды, электрондардың өз атомдарымен байланысы нашарлайды, олардың энергия деңгейлері төмендейді. Осының нәтижесінде атомдардың бірдей энергетикалық деңгейлері



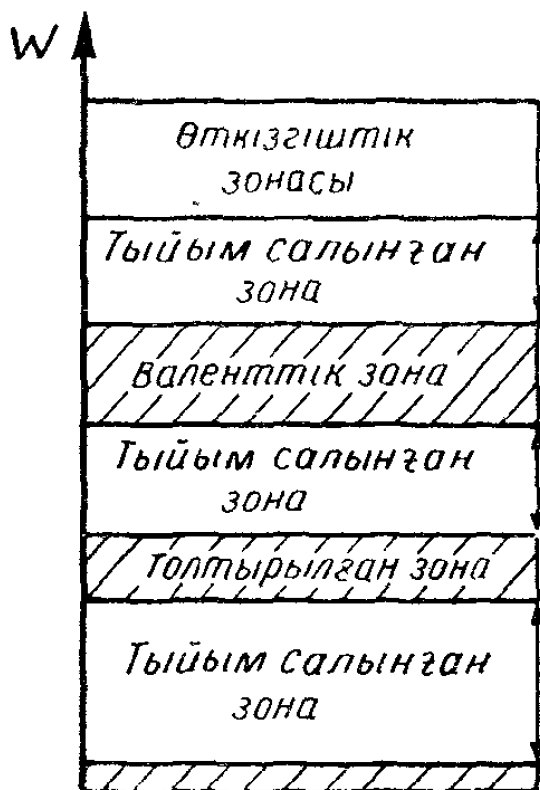
7-сурет. Кристалл түзілгенде энергетикалық деңгейдің ыдырауы:

1 — атомның ішкі электрондық қабықтарының электрон деңгейі; 2 — валенттік электрон деңгейі; 3 — қозу деңгейі; 4 — толтырылған зона; 5 — валенттік зона; 6 — өткізгіштік зона;  $\Delta W$  — валенттік зона мен өткізгіштік зонаны бөліп тұрған тыйым салынған зонаның жалпақтығы.

кристалда қандай да бір жалпы деңгейге жинақталмай, шама жағынан бір-бірімен шамалас, сөйтсе де айырмасы бар әр түрлі деңгейлерге, энергетикалық зона түзе, ыдырайды (7-сурет). Мұндай зонадағы энергетикалық деңгейлер саны кристалл түзілген атомдардың санына тең.

Кристалдағы атомдардың электрондармен толтырылған энергетикалық деңгейлерінің ыдырауы нәтижесінде толтырылған зоналар пайда болады. Валенттік электрондар деңгейлері валенттік толтырылған зона түзеді. Кристалдағы қозу деңгейлерінің ыдырауы нәтижесінде қозу зонасы (немесе өткізгіштік зона) пайда болады; егер элек-





8-сурет. Кристалдың зоналық құрылысы.

трондар жоқ болса, онда бұл зона еркін зона деп аталады.

Бұл зоналардың бәрі де бір-бірінен электрондар орналаса алмайтын энергетикалық деңгейлер түзетін тыйым салынған зоналармен бөлініп тұрады (8-сурет).

Кристалл үшін де, сондай-ақ оңашаланған атом (басқа атомдармен байланыспаған) үшін де Паулидың тыйым салу принципі орынды: әрбір энергетикалық деңгей тек бір ғана электронмен (немесе қарама-қарсы спинді екі

электронмен) толтырылуы мүмкін.

Өйткені әрбір электрон энергетикалық тиімді жағдайда (неғұрлым аз энергия алу күйінде) орналасуға тырысады, демек, электрондар ең алдымен төменгі толтырылған зоналардың энергетикалық деңгейлерін толтырады.

Денелердің электр қасиеттері өткізгіштік зонасы мен валенттік зона (7-суреттегі  $\Delta W$  аралығы) арасындағы тыйым салынған зоналардың жалпақтығымен анықталады.

Электр өткізгіштік процесіне валенттік зона электрондары қатысады: онда бұл электрондар электр өрісінің әсерінен электр тогын туғыза отырып, өткізгіштік зонасына өтеді. Кейінірек біз шала өткізгіштерде электр тогы электрондардың валенттік зонада реттеліп орын ауыстыруы есебінен де пайда болатынын көреміз (кемтіктік ток).

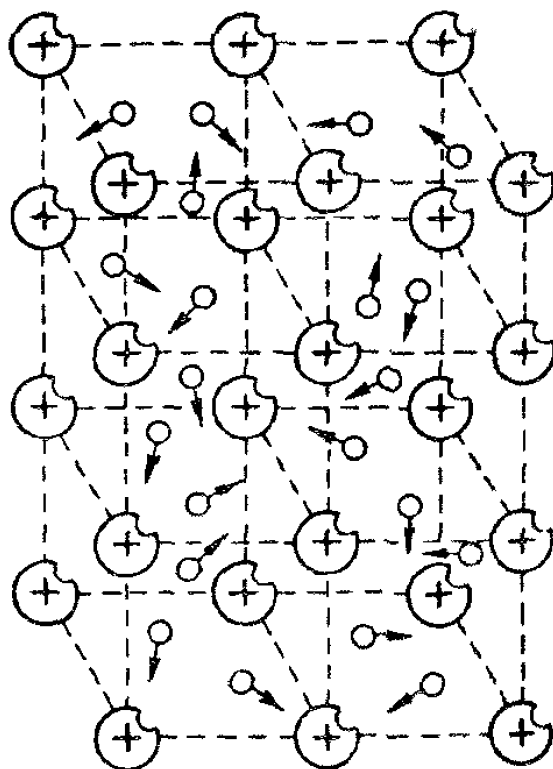
Тыйым салынған зона неғұрлым жалпақ болса ( $\Delta W$  мәні көп болса), онда валенттік электронға сол зонадан өту үшін соғұрлым көбірек энергия беру керек, демек, кристалдың электр өткізгіштігі соғұрлым нашар болады.

## § 11. Кристалдардағы электрондық байланыс

22. Қатты денелер аморфты және кристалды болатыны белгілі. Кристалдардың кеңістік решеткаларының түйіндерінде бір-бірімен электрлік өз ара әсер күштерімен байланысқан атом иондары (9-сурет) орналасқан. Кристалдардың атомдары арасындағы байланыстардың пайда болуында сыртқы қабықтар жақсы роль атқарады.

Кристалдар байланыстардың үш түрі: металдық, иондық, қос электрондық (коваленттік) байланыстар бойынша түзілуі мүмкін.

23. Металдық байланыс кезінде кристалл атомдары бір-біріне жақын орналасқан; сыртқы қабықтың электрондары көршілес атомдардың ядроларының

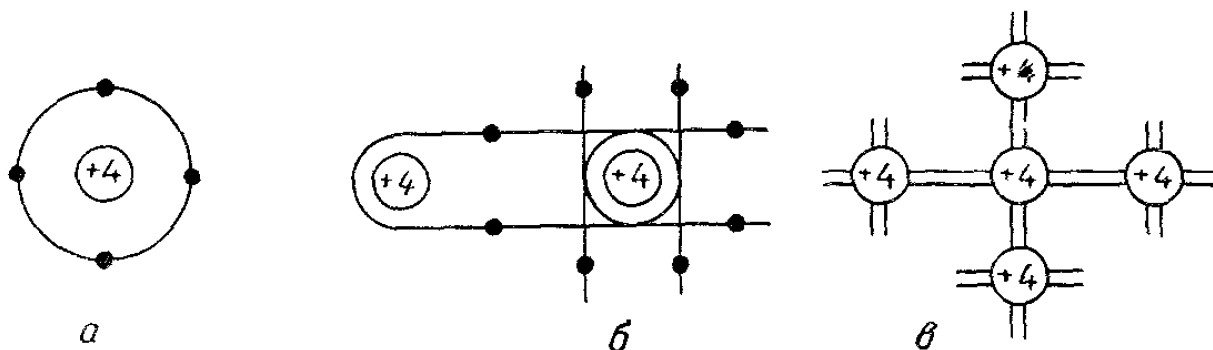


9-сурет. Металдың кристалдық құрылысы.

ықпалына түседі де, өз қабықтарын тастап шығады. Мұндай электрондар кристалдық решетканың ішінде қозғалып жүреді де, енді бір атом емес, бүкіл кристалл атомдарына ортақ болады, сондықтан оларды **ортақтастырылған** (өткізгіштік электрондар) деп атайды. Кристалдық решеткалардың түйіндерінде атомдар тербелмелі қозғалыс жасайды.

Металда ортақтастырылған электрондар есебінен бейтарап атомдар түзілу және атомдардан жаңа валенттік электрондардың жұлынып кету процесстері үздіксіз жүріп жатады.

**24. Иондық байланысқа** хлорлы натрий ( $\text{NaCl}$ ) тұзының кристалы мысал бола алады. Натрий атомының ядромен әлсіз байланысқан бір валенттік ( $M$  қабатында) электроны, ал хлор атомының  $M$  қабатында жеті электроны бар. Хлор атомы сегіз электроннан барынша орнықты сыртқы қабық жасауға тырысып, өзіне натрийдің валенттік электронын қосып алады. Осының нәтижесінде пайда болған натрийдің оң ионы және хлордың теріс ионы решетканың түйіндерінде кулондық өз ара әсер күшімен ұсталып тұрады. Мұндай кристалда электрондар атомдармен берік байланысады да, өткізгіштік электрондар болмайды.



10-сурет. Кристалдардағы қос электрондық байланыстар

*a* — төрт валентті кремний атомы (тек валенттік электрондар ғана көрсетілген), *б* — ковалентті байланыстардың пайда болуы, *в* — қос электрондық байланыстардың шартты кескінделуі

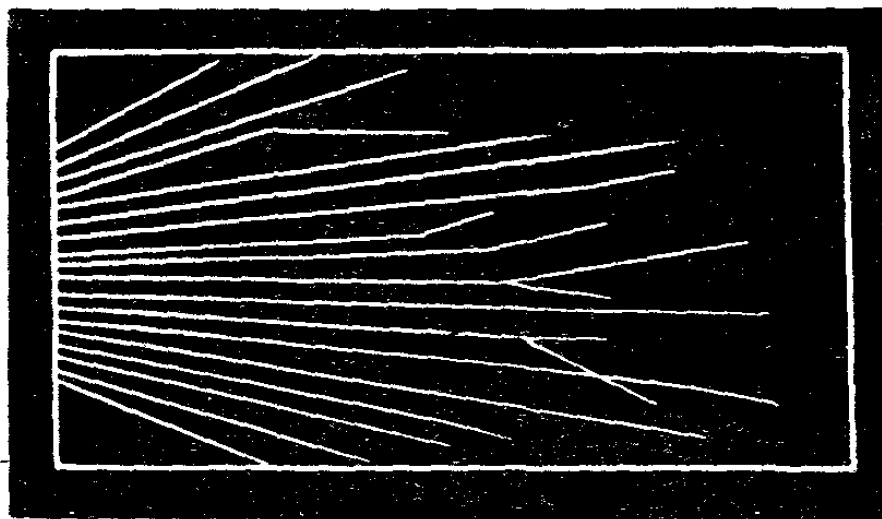
**25. Коваленттік байланыс.** Бұл байланыс кристалдың әр атомы көршілес атомдармен байланысты қамтамасыз ету үшін бір-бірден электрондар бөліп шығару есебінен орнайды. Сөйтіп, көршілес екі атом ортақтастырылған екі электронмен байланысады. Демек, бұл байланысты валенттік электрондар іс жүзіне асыратындықтан, әр атомның байланыстар саны оның валенттілігіне тең. Қос электрондық байланыс, мысалы, төрт валентті кремний кристалдарында болады (10-сурет). Кеңістік кристалл решеткалардың кескінделуі көрнекі болуы үшін көбіне оны жазық проекциямен алмастырады.

Реалды кристалдарда бір мезгілде электрондық байланыстардың әр түрлері кездесуі мүмкін.

### БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ. ЕСЕПТЕР

1. Электроника нені зерттейді?
2. Электрондық, иондық және шала өткізгіштік приборлардың жұмысы қандай физикалық құбылыстарға негізделген?
3. Альфа-бөлшек дегеніміз не?
4. Резерфорд тәжірибесіндегі альфа-бөлшектердің шашырауын түсіндіріңіздер.
5. Альфа-бөлшектерді жеңіл және ауыр элементтер атомдарының ядролары бірдей шашырата ма? Жауапты тиісті формуланы талдау арқылы дәлелдеңіздер.
6. Зерттелетін заттан жасалған жұқа беттен альфа-бөлшектердің іс жүзінде шашырамай өтіп кету фактісі нені көрсетеді?
7. Резерфорд теориясы бойынша атом қалай құрылған?
8. Резерфорд теориясында қандай қиыншылықтар кездеседі?
9. Бор постулаттарын тұжырымдаңыздар.
10. Атом қаншалықты порция энергия шығарса, соншалықты энергия жұтады. Осы фактіні түсіндіріңіздер.
11. § 4-те қыздырылған газдардың сызықтық спектр шығаратыны айтылған. Ал қыздырылған қатты денелердің тұтас спектр шығаратыны белгілі. Мұны қалай түсіндіруге болады?
12. Франк пен Герц тәжірибесінің идеясын айтып беріңіздер.
13. Қозу энергиясы дегеніміз не? Иондау энергиясы деп нені айтамыз? Бұл энергиялардың қайсысы көп және неліктен?
14. Оңашаланған атом үшін Паули принципін тұжырымдаңыздар.

15. Спин дегеніміз не?
16. Атом ядросы қандай бөлшектерден тұрады?
17. Атомдардың электрондық қабықтары қалай орналасады?
18. Атомның энергетикалық күйі деп нені айтамыз?
19. Энергетикалық деңгей, козу деңгейі, тыйым салынған зона дегеніміз не?
20. Кристалда энергетикалық зона қалай түзіледі?
21. Өткізгіштік зонасы қандай ерекшелігімен сипатталады?
22. Кристалл үшін Паули принципін тұжырымдаңыздар.
23. Атомдағы электронның қандай күйі энергетикалық тиімді деп аталады?
24. Оңашаланған атом мен кристалдың рұқсат етілген деңгейлерінің арасындағы тыйым салынған аралықтардың бір-бірінен айырмашылығы неде?
25. Егер валенттік зонада электрон болса, онда толтырылған зонадан электронды аластауға мүмкін бе?
26. Кристалдағы атом аралық қашықтықтың шамасына энергетикалық деңгейлер арасындағы қашықтықтың қандай байланысы бар?
27. Кристалдың электрлік қасиеттері тыйым салынған зонаның шамасына (7-суретте  $\Delta W$ ) қандай байланысы бар?
28. Кристалдарда электрондық байланыстардың қандай түрлері кездеседі?
29. «Ортақтастырылған» электрондар дегеніміз не? Оларды толық еркін электрондар деуге бола ма?
30. Альфа-бөлшектердің жылдамдығы 1000 м/сек болғандағы, 1000 км/сек болғандағы кинетикалық энергиясын анықтаңыздар.
31. 11-суретте оттегіндегі альфа-бөлшектердің тректерінің (іздерінің) фотографиясы берілген. Сол іздердің біреуі «айыр» жасайды. Бұл альфа-бөлшектің оттегі атомы ядросымен соқты-



11-сурет. Оттегіндегі альфа-бөлшектердің тректері (іздері).

ғуының нәтижесі: қай із (ұзыны немесе қысқасы) альфа-бөлшектің ізі?

32. Сутегі атомының бірінші Борлық орбитадағы электронының энергиясын есептеңіздер.

33. Сутегі атомындағы бірінші Борлық орбитаның радиусын және осы орбитадағы электронның сызықтық жылдамдығын анықтаңыздар.

Бұл орбитадағы өрістің кернеулілігі қандай?

Нұсқау: (3) формуланы пайдаланыңыздар және электронға әсер етуші центрге тартқыш күш өзінің физикалық табиғаты жағынан кулондық күш болатынын ескеріңіздер.

34. Сутегі атомын толқын ұзындығы  $1215,68 \text{ \AA}$  ( $1215,68 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ) ультракүлгін сәулемен сәулелендіргендегі қоздыру энергиясын анықтаңыздар.

Сонда атомдағы электрон қай энергетикалық деңгейден қай энергетикалық деңгейге көшеді (3-суретті қараңыздар)?

35. Сутегі спектрінде қызыл сызық (толқын ұзындығы  $6564 \text{ \AA}$ ) байқалады. Атомның қозған күйінде электрон үшінші энергетикалық деңгейде тұрады. Электрон фотондар шығарған кезде қай деңгейге көшеді?

36. Сынаптың төменгі қозу потенциалынан жоғарғы қозу потенциалына көшкен кезде шығаратын электромагниттік толқындарының жиілігі қалай өзгереді (5-сурет). Қоздыру потенциалдары  $4,9 \text{ в}$ ,  $6,7 \text{ в}$ ,  $8,3 \text{ в}$  болған кездегі сәулеленуге қандай толқын ұзындықтары сәйкес келеді?

37. Франк және Герц тәжірибесін класта демонстрациялаған кезде ТГ1—0,3/1,3 газотрон ішіндегі ксенонның бірінші потенциалын және қозу энергиясын анықтаңыздар.

38. Менделеев таблицасын пайдаланып, көміртегі, ванадий, алтын атомдары ядроларындағы протондар мен нейтрондар санын анықтаңыздар.

39. Атомның  $K$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $N$  қабықтарында электрондардың мүмкін болатын максимал саны қанша?

40. Көміртегі атомының төрт рет иондалған атомының иондану потенциалы қандай?

41. Сынап атомының  $K$ -қабығынан электронды жұлып шығару үшін оны толқын ұзындығы  $0,15 \text{ \AA}$  квантпен сәулелендіру керек.  $N$  қабығы үшін бұл ұзындық  $15,1 \text{ \AA}$  сәйкес келеді. Екі жағдай үшін иондану потенциалдарын есептеңіздер.

42. Кристалл фотонды жұтты, осының нәтижесінде валенттік электрон өткізгіштік зонасының жақын деңгейіне көшті. Тығым салынған зонаның ені  $0,72 \text{ эв}$ . Фотонның толқын ұзындығы қандай?

43. Сутегінің қозбаған атомының ядросы мен электроны арасындағы өз ара әсердің кулондық және гравитациялық күштерін есептеңіздер және оларды бір-бірімен салыстырыңыздар.

## ЭЛЕКТР ӨТКІЗГІШТІКТІҢ ТАБИҒАТЫ

26. Әр түрлі электр құбылыстарын зерттеп білуде біз классикалық электрондық теорияны пайдаланамыз. Ол түрлі физикалық құбылыстарды жақсы түсіндіреді, өзі қарапайым және көрнекі, оның қорытындыларын көптеген тәжірибелер шындыққа шығарады. Мысалы, бұл теория экспериментальдық жолмен тағайындалған Ом және Джоуль — Ленц заңдарын қорытып шығаруға мүмкіндік береді.

Алайда, классикалық электрондық теорияның шектеулі екеніне біз алда көз жеткіземіз. Ол қандай да бір құбылыстарды немесе тәжірибелік фактілерді түсіндіре алмаған жағдайда, бұдан күрделірек кванттық теорияға жүгінуімізге тура келеді.

### § 1. Классикалық электрондық теория туралы

27. Электрондық теория негіздерін 1900—1905 жылдары ғалымдар *Паул Друд* пен *Генрих Лорентц* салған болатын. Бұл теорияның электрондардың кез келген ортадағы қозғалысы Ньютон заңдарына бағынады деген тұжырымы аса маңызды қағидаларының бірі. Электрондық теория материалдық дененің электрлік қасиеттері ондағы электрондардың күй-жайына байланысты деп есептейді.

Өткен тараудың 11-параграфында біз металдарда ортақтастырылған (коллективтендірілген) электрондардың барлығын тағайындадық, металдың кристалдық структурасының сақталуындағы олардың ролін айқындадық. Электрондық теория бойынша бұл элек-

трондар еркін де, олар бір атомды идеал газдардың қасиеттері сияқты қасиеттері бар өзінше бір электрон газын түзеді. Электрондар, идеал газ молекулалары сияқты, үздіксіз, тәртіптелмеген (хаосты) қозғалыста болады да, олар тек электр өткізуге ғана емес, дененің жылу өткізуіне де қатысады. Міне, электрондық теорияның металдарды тек электр тогын ғана емес, жылуды да жақсы өткізеді деп түсіндіруі де осыдан.

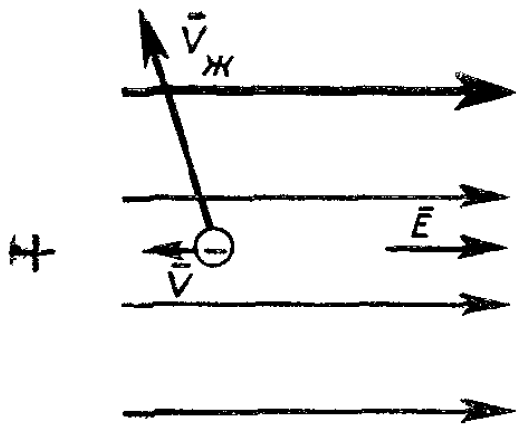
Молекулалық физика курсынан идеал газда молекула аралық ілінісу күші жоқ екенін білеміз. Сондықтан электрондық теория электрондар мен решетка иондары арасындағы, электрондардың өздерінің арасындағы өз ара әсер күштерін ескермейді. Бұл теория бойынша, өткізгіштің электр кедергісі кристалл заттардың электрондарының решетка түйіндерімен жай (механикалық) соқтығысуынан пайда болады.

Енді тізбектің бөлігі үшін Ом заңын классикалық электрондық теория негізінде қалай қорытылып шығарылатынын көрсетейік. Қорытып шығару барысында алынатын меншікті кедергі формуласы электрондық теорияның қолданылу мүмкіндігі мен шекарасын айқын аңғаруға мүмкіндік береді.

## **§ 2. Тізбектің бөлігі үшін Ом заңын электрондық ұғым негізінде қорыту**

**28.** Металл өткізгіште түрлі бағыттағы ретсіз жылулық қозғалысқа қатысатын электрондардың орташа саны шамамен өз ара тең, сондықтан металда электр тогы жоқ. Егер өткізгіштің ұштарында потенциал айырымдарын туғызсақ, онда электрондар өткізгіштегі электр өрісіне қарсы басым қозғалыс алады (12-сурет). Электрон решетканың түйіндерімен әрбір соқтығысқан сайын өзінің жылдамдығын толық жойып, келесі соқтығысқанға дейін электр өрісінің күші әсерінен тұрақты үдеумен (бастапқы жылдамдықсыз) қозғалады деп есептейік. Сонда электронның үдеуі





12-сурет. Реттелген және ретсіз жылулық қозғалыстардағы электронның жылдамдықтары

Ньютонның екінші заңы бойынша былай анықталады:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}.$$

Бұл формулада  $F$  — кернеулігі  $E$  электр өрісінің электронға әсер ететін күші ( $e$  — электрон заряды,  $m$  — массасы).

Электронның электр өрісіндегі орташа жылдамдығы

$$v = \frac{at}{2} = \frac{eEt}{2m}.$$

Электронның бұл жылдамдықтан басқа жылулық (ретсіз) қозғалыстағы жылдамдығы ( $v_{ж}$ ) болады. Оның бұл жылулық қозғалыстағы жылдамдығы электр өрісіндегі орын ауыстыру жылдамдығынан әлденеше есе артық. Мысалы, бөлме температурасында электронның жылулық қозғалысының орташа жылдамдығы шамамен  $10^5$  м/сек, ал кернеулігі  $E=100$  в/м электр өрісінің әсерімен бағытталған қозғалыс жылдамдығы секундына метрдің оннан бір үлесіндей ғана болады. Енді электронның екі соқтығысу аралығындағы жолының орташа ұзындығын  $\lambda$  әрпімен белгілесек, сонда еркін жүру уақыты:

$$t = \frac{\lambda}{v_{ж}}$$

болады. Мұнда біз реттелген қозғалыс жылдамдығын соншалық аз шама болғандықтан ескермедік. Сонда орташа жылдамдық:

$$v = \frac{1}{2} \cdot \frac{eE}{m} \cdot \frac{\lambda}{v_{ж}}$$

Сөйтіп, өткізгіште электр өрісі бар кезде электрон екі қозғалысқа: (жылдамдығы —  $v_{ж}$ ) ретсіз жылулық және өріске қарсы (жылдамдығы —  $v$ ) реттелген қозғалысқа қатысады.

Өткізгіштің көлем бірлігіндегі электрондарының саны ( $n$ ) және олардың орын ауыстыру жылдамдығы ( $v$ ) неғұрлым көп болса, онда токтың тығыздығы да ( $i$ ) соғұрлым көп болады, яғни:

$$i = nev.$$

Қолденең қимасы  $S$  өткізгіштегі электр тогының күші мынаған тең:

$$I = iS = nev \cdot S = \frac{ne^2\lambda S}{2mv_{ж}} \cdot E.$$

Ұзындығы  $l$  өткізгіштің ұштарындағы потенциалдар ( $U$ ) айырымы  $E = \frac{U}{l}$  қатысымен анықталатыны кернеулік векторының шамасымен байланысты болғандықтан, ток күші мынаған тең болады:

$$I = \frac{ne^2\lambda}{2mv_{ж}} \cdot S \cdot \frac{U}{l} = \frac{U}{\frac{2mv_{ж}}{ne^2\lambda} \cdot \frac{l}{S}} = \frac{U}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{U}{R} \quad (9)$$

29. Бұдан өткізгіштің меншікті кедергісі мынаған тең болады:

$$\rho = \frac{2mv_{ж}}{ne^2\lambda} \quad (10)$$

### § 3. Электрондық теорияның шектелуі

30. Меншікті кедергі формуласына (10) анализ жасау денелердің электрлік қасиеттерін түсіндіруге мүмкіндік береді.

Металдардың меншікті кедергісін қарастырайық. Металдарда өткізгіштік электрондардың концентрациясы  $n$  (заттың 1 куб метріндегі электрондар саны) металдың валенттілігі — « $A$ »-ны  $10^{28}$  санына көбейткенге тең және сыртқы жағдайға байланысты болмайды:

$$n = A \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

Сондықтан металл өткізгіштің меншікті кедергісі (10 формуланы қараңыздар) тек қана электрондардың жылулық қозғалысының жылдамдығына ( $v_{ж}$ ) және еркін жүру жолының ұзындығына ( $\lambda$ ) байланысты. Өткізгіштің температурасы жоғарылаған сайын, электрондардың жылулық қозғалыс жылдамдығы, газдағы сияқты, артады, демек, металдың кедергісі көбейеді. Неғұрлым еркін жүру жолы ұзын болса, яғни электрондар решетка түйіндерімен неғұрлым сирек соқтығысса, меншікті кедергі ( $\rho$ ) соғұрлым аз болады.

Өткізгіштік электрондары электр өткізгіштікке ғана қатысып қоймай, заттың жылу өткізгіштігіне де қатысады. Металда электрондар концентрациясы ( $n$ ) өте зор, сондықтан, олар тоқты және жылуды жақсы өткізеді.

Диэлектриктерде еркін электрондар шын мәнінде жоққа тән, сондықтан олар тоқты ғана нашар өткізіп қоймай, жылуды да нашар өткізеді.

Электрондық теория басқа да түрлі орталардың электрлік және оптикалық қасиеттерін түсіндіреді (әсіресе сапа жағынан).

31. Солай бола тұрса да, классикалық электрондық теория кейбір мәселелерде тәжірибеде дәлелден-

ген фактілерге қайшы келетін қорытындыға әкеп соғады. Солардың кейбіреулерін қарастырайық.

Температураның көтерілуіне қарай металл өткізгіштердің кедергісі артатынын жоғарыда айтып кеттік. Алайда, онда келтірілген формула (10) қайсыбір қорытпалардың (манганин, константан) меншікті кедергісі не себепті іс жүзінде температураға байланысты емес екенін, жеткілікті төмен температурада не себепті төтенше өткізгіштік құбылысы байқалатынын түсіндірмейді.

Электрондық теория қорытындылары (оларды біз бұл арада келтіріп отырғанымыз жоқ) металдың меншікті кедергісі абсолют температураның квадрат түбіріне пропорционал екенін дәлелдесе, ал тәжірибе меншікті кедергі температураның бірінші дәрежесіне тура пропорционал екенін көрсетеді.

Молекулалық физика бойынша: бір атомды кристалдардың бір грамм-молекулаға келетін жылу сыйымдылығы (тұрақты көлемде) шамамен  $6 \text{ кал/град}$ , ал бір атомды газдар үшін  $3 \text{ кал/град}$ . Демек, металл үшін біз  $6 \text{ кал/град} + 3 \text{ кал/град} = 9 \text{ кал/град}$  алуымыз керек, ал тәжірибе жүзінде  $6 \text{ кал/град}$  шығады. Демек, жылулық қозғалыста электрондар ролі туралы ұғым дұрыс болмайды.

**32.** Мұнда электрондық теорияның қайшылығы дұрыс тұжырымның жасалмауынан, яғни электрондардың қозғалысы, газ молекулаларының қозғалысы сияқты, Ньютон механикасының заңдарына бағынады деп тұжырымдаудан туып отыр. Классикалық электрондық теория өткізгіштердің, шала өткізгіштердің, диэлектриктердің электр өткізгіштігін бірыңғай көзқарас тұрғысынан түсіндіре алмайды.

Шынында да, мысалы, металдардағы электрондар энергиясы қалыпты температурада оған болымсыз ғана тәуелді, ал электрондық газдың жылу сыйымды-

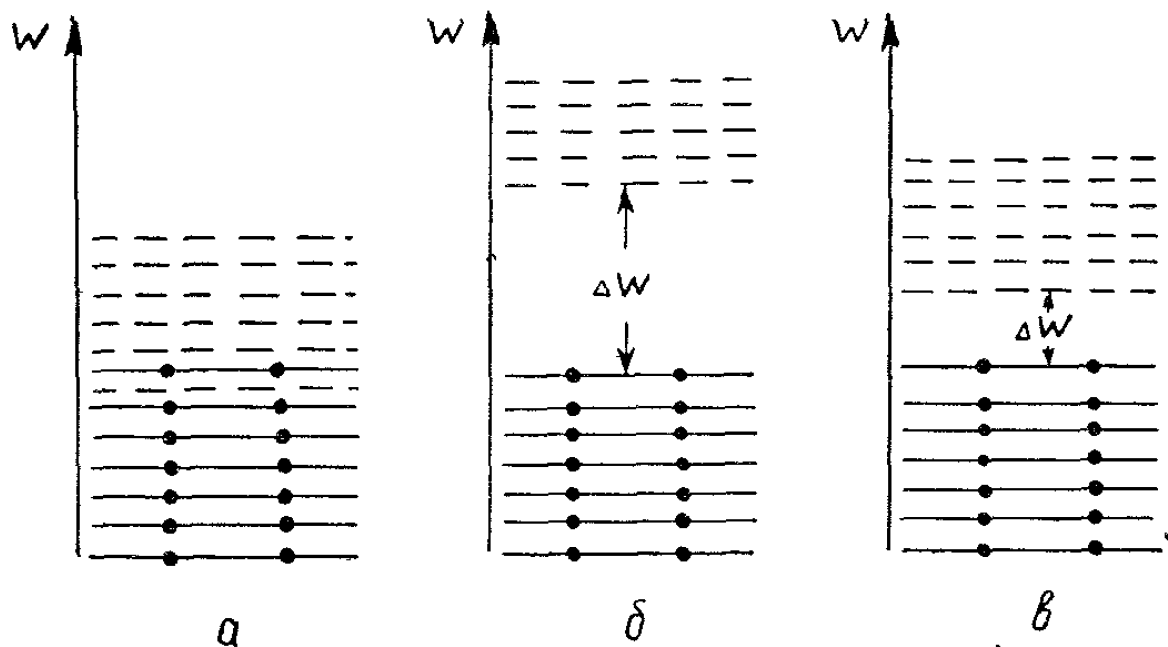
лығы нольге жуық, сондықтан электрондық газдың болуы металдың жылу сыйымдылығына іс жүзінде ешбір әсер етпейді.

Бұған кванттық механикаға негізделген электр өткізгіштіктің зоналық теориясы жауап береді.

#### § 4. Денелердің электр өткізгіштігінің зоналық теориясы

33. Зоналық теория бойынша барлық денелер тыйым салынған зонаның ( $\Delta W$ ) еніне (7-сурет) байланысты шартты түрде өткізгіштер, шала өткізгіштер және диэлектриктер болып бөлінеді. Егер оның ені нольге тең болса, онда зат өткізгіш болады, егер ол 2 эв-тен аспайтын болса, онда ол шала өткізгіш, ал егер тыйым салынған зонаның ені 2 эв-тен артық болса, онда зат диэлектрик болады.

**А. Металдар.**



13-сурет. Энергетикалық диаграммалар:

*a* — өткізгіштікі; *б* — диэлектриктікі; *в* — шала өткізгіштікі.

34. Металдарда өткізгіштік зонасы валенттік зонаны жауып кетеді (13, а-суретте өткізгіштік зонасының энергетикалық деңгейі штрихтармен көрсетілген) немесе оған түйісе орналасады.

Металл кристалында зонадағы көршілес энергетикалық деңгейлер арасындағы қашықтық шамамен  $10^{-22}$  —  $10^{-23}$  эв шамасында болады, яғни олар іс жүзінде үздіксіз орналасады. Солай бола тұрса да, бөлме температурасында жылулық қозғалысқа қатысушы атомның кинетикалық энергиясы 0,04 эв-тен аспайды. Бұл кез келген температурада, абсолют нольді қоса алғанда, өткізгіштік зонасында электрондар болады деген сөз. Егер металда электр өрісін туғызсақ, онда электрондар әлдеқайда жоғары энергетикалық деңгейлерге көше бастайды да, электр тогы пайда болады.

Өткізгіштік электрондардың кристалл арқылы қозғалуы рұқсат етілетін зоналар шектерінде жататын әр түрлі энергиялар арасында бола алады.

Электр тогын туғызуға тек валенттік зонаның электрондары ғана қатысады.

### **Б. Диэлектриктер**

35. Диэлектриктерде валенттік зона толығымен электрондармен толтырылған. Диэлектриктерде тыйым салынған зона өте үлкен (13,б-сурет) және жақсы диэлектриктерде 20 эв дәрежесіне жетеді. Сондықтан қалыпты жағдайда валенттік зонадағы электрондар еркін электрондарға айналмайды да, диэлектрик изолятор болады. Валенттік зонадағы электронға өте жоғары энергия бергенде олар тыйым салынған зонадан өте алады, мұндайда диэлектрик өткізгішке айналады (диэлектрикті электрлік тесіп өту, оның изоляторлық қасиетін жояды).

### **В. Шала өткізгіштер**

36. Бізді қоршаған көптеген қатты денелер — шала өткізгіштер. Оған Менделеевтің периодтық сис-

III гр		IV гр		V гр		VI гр		Электрондар (протондар) саны	
5	<b>B</b> 1,1	6	<b>C</b> 5,2	15	<b>P</b> 1,5	16	<b>S</b> 2,5		
		14	<b>Si</b> 1,1	33	<b>As</b> 1,2	34	<b>Se</b> 1,7	VII гр	
		32	<b>Ge</b> 0,72	51	<b>Sb</b> 0,12	52	<b>Te</b> 0,36		
		50	<b>Sn</b> 0,1					53	<b>J</b> 1,25

*Тыйым салынған зонаның ені (эв)*

14-сурет. Химиялық элементтер — шала өткізгіштер.

темасының IV, V және VI группасындағы кейбір элементтер (14-сурет), көптеген тотықтар, металдардың күкіртпен, селенмен, теллурмен қосылыстары, бірқатар органикалық заттар жатады.

37. Шала өткізгіштердің қалыпты жағдайдағы меншікті кедергісі металдардан көп те, диэлектриктерден аз. Шала өткізгіштердің электр өткізгіштігі температураға, жарықтануға, электр өрісінің әсеріне, қысымға, қоспалардың болуына аса тәуелді.

Шала өткізгіште тыйым салынған зонаның ені онша үлкен емес (13,в-сурет), мысалы, германий үшін  $\Delta W = 0,75$  эв, кремний үшін  $\Delta W = 1,2$  эв шамасында. Химиялық таза шала өткізгіш абсолют нольде диэлектрик болып табылады: валенттік зона, электрондармен толық толтырылады, ал өткізгіштік зонасында электрондар жоқ.

38. Температура жоғарылағанда валенттік зонаның электрондары еркін зонаға өте бастайды. Шала өткізгіште, металдағы сияқты, электрондық өткізгіштік пайда болады. Электр өрісі бар кезде электр тогы ( $I_e$ ) өткізгіштік зонасында электрондардың орын ауыстыруы есебінен туады.

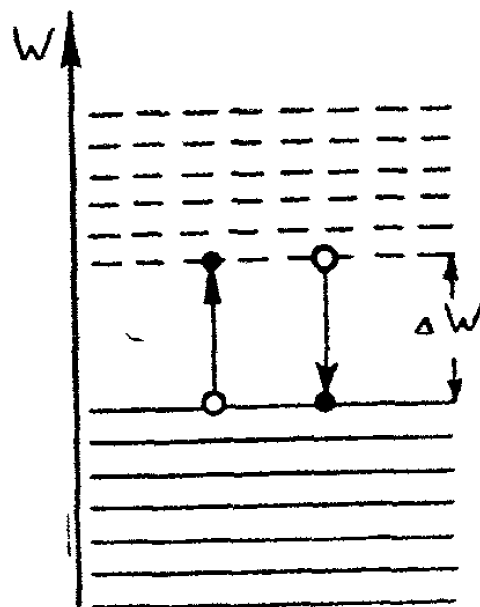
39. Шала өткізгіштерде электрондық өткізгіштіктен басқа кемтікті электр өткізгіштікте болады. Өткізгіштік зонасына өткен әрбір электр

трон валенттік зонада кемтік деп аталатын бос орын қалдырады. Вакансияны (кемтікті) көрші электрон толтыруы мүмкін, ал оның орнында жаңа кемтік пайда болады, бұл кемтікті кезегімен келесі бір электрон басуы мүмкін, т. т. Электр өрісі жоқ кезде электрондар мен кемтіктер тәртіпсіз (хаосты) жылулық қозғалыста болады. Бұл кезде электрон-кемтік парлары түзіліп қана қоймайды, сонымен бірге кері процесс — рекомбинация процесі — туып, өткізгіштік электрондар кемтіктерді толтырады (15-сурет).

Валенттік зонаның жоғарғы энергетикалық деңгейі кемтікпен толған болсын делік.

Электр өрісі туған кезде электрон төменгі деңгейден жоғарғы деңгейге ауысып кемтікті толтырады (16-сурет). Бірақ мұның есесіне оның орнында жаңа кемтік пайда болады. Ал оны келесі электрон толтырады т. с. с. Сөйтіп электрондар өріске қарсы, ал кемтіктер оған қарама-қарсы бағытта қозғалғандай болып шығады. Мұның өзі кемтікті ток  $I_k$ . Кемтіктердің электр өрісінде орын ауыстыру бағытына қарап, оларды оң электр зарядтарын тасушы деп есептеуге болады.

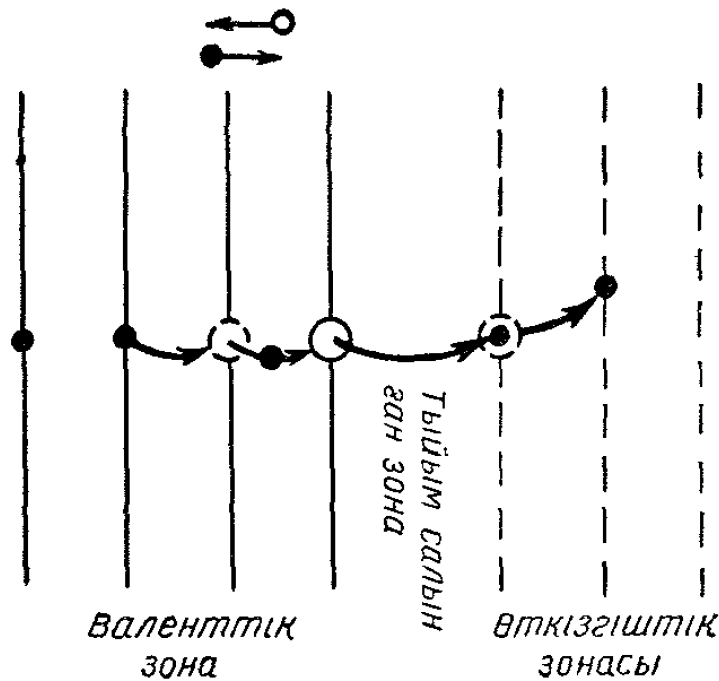
Көрнекілік үшін мынадай мысал келтірейік. Қлассағы парталардың барлық қатарларында оқушылар отыр делік. Бірінші қатардан бір оқушы тұрып шығып кетті. Демек, оның орны босады (яғни «кемтік» пайда болды). Екінші қатарда отырған бір оқушы бірінші қатардағы сол бос орынға ауысып отырды. Сон-



15-сурет. Электр өрісі жоқ кезінде өткізгіштік электрондар мен кемтіктер ретсіз жылулық қозғалыс жасайды. Екі процесс қатар жүреді:

электрон — кемтік парлары және кемтіктерді электрондармен толтыру (рекомбинация).





16-сурет. Шала өткізгіштегі кемтіктік ток.

да екінші қатарда бос орын («кемтік») пайда болды, ал ол бос орынға үшінші қатардағы оқушы отыруы мүмкін. Сөйтіп, бос орын бір қатардан бір қатарға ауысып отырады. Міне, шала өткізгіштердегі кемтікті атомдардың пайда болуы, қарапайым түрде айтқанда, дәл осындай.

**40.** Сөйтіп, шала өткізгіштердегі электр тогы өткізгіштік зонасындағы өткізгіштік электрондардан және валенттік зонадағы кемтіктерден пайда болады. Сонда, жалпы ток:

$$I = I_{\text{э}} + I_{\text{к}} \quad (11)$$

Кемтіктерге қарағанда, электрондар әлдеқайда шапшаң қозғалатындықтан, электрондық токты кемтіктік токқа тең деп қарауға болмайды.

Химиялық таза шала өткізгіштердің өткізгіштігі (электрондық-кемтіктік өткізгіштік) **меншікті өткізгіштік** деп аталады.

**41.** Шала өткізгіштерде электрондардың концентрациясы температураға өте тәуелді болады. Мысалы, бөлме температурасындағы 1 куб. метр германийде

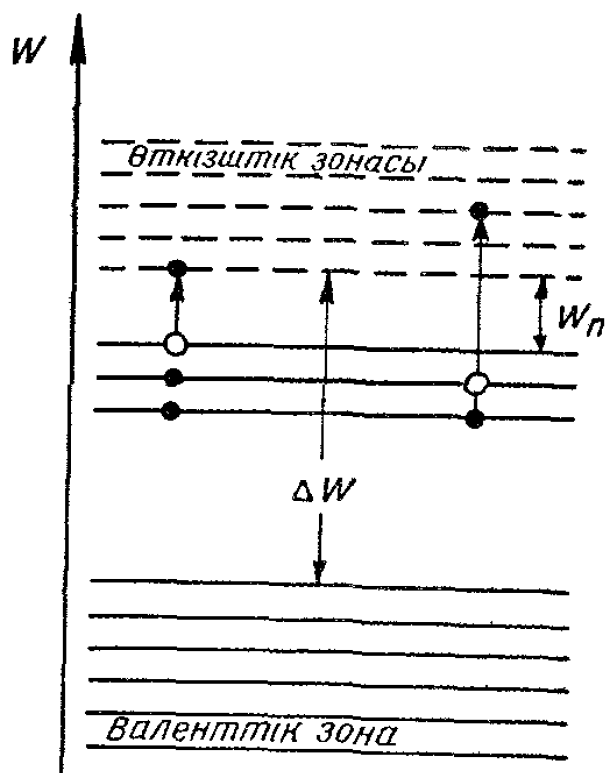
$10^{19}$  өткізгіштік электрондар бар. Температура одан әрі жоғарылаған сайын, өткізгіштік электрондар саны артады, сөйтіп, шала өткізгіш электр өткізгіштігі жағынан металға жақындайды.

## § 5. Шала өткізгіштердің қоспалы өткізгіштігі

42. Шала өткізгіштерге қоспа қосып, олардың не электрондық өткізгіштігін, не кемтіктік өткізгіштігін басым етуге болады.

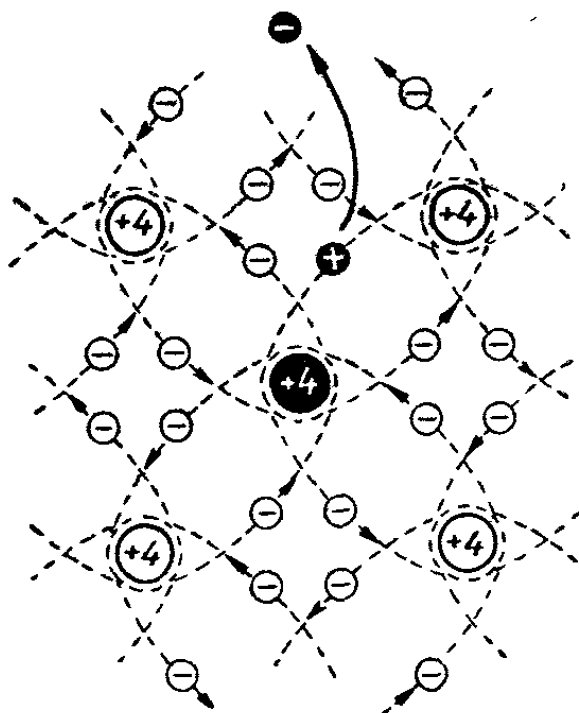
43. Электрондық өткізгіштік қасиеті бар шала өткізгіш ( $n$  типтес<sup>1</sup>) шығарып алу үшін донорлық қоспаларды пайдаланады. Донорлық қоспалы атомдардың қайсыбір бос емес деңгейлері шала өткізгіштің тыйым салынған зонасында болады да, бірақ өткізгіштік зонасына шекаралас орналасады (17-сурет). Сонда қоспалы деңгейдің электрондарының біраз бөлігі жылулық қозғалыс нәтижесінде өткізгіштік зонасына ауысады да, ондағы электрондар концентрациясын арттырады.

Мысал ретінде кремний кристалын қарастырайық. Кремний атомында төрт валенттік электрон көршілес атомдармен коваленттік байланыс жасайды (18-сурет). Қоспа ретінде

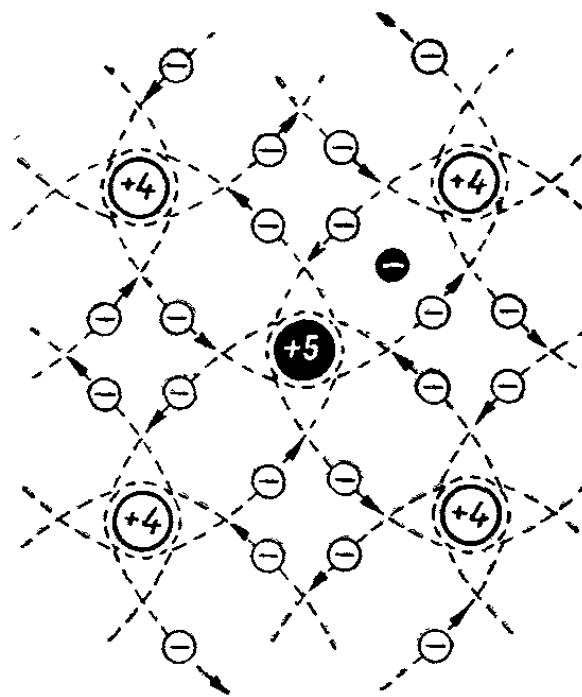


17-сурет. Шала өткізгіштің қоспалы электр өткізгіштігі. Донорлық қоспалар электрондары өткізгіштік зонаға өтеді. Сонда электрондық типті шала өткізгіш пайда болады.

<sup>1</sup> Ағылшынның «negative», яғни «теріс» деген сөзінен алынған



18-сурет. Кремнийдің меншікті өткізгіштігі.



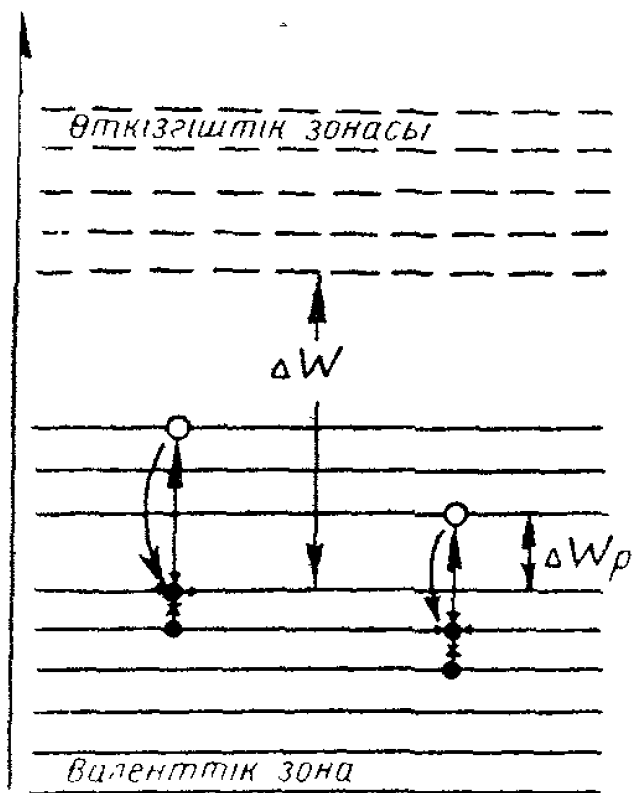
19-сурет. Кремнийдің электрондық өткізгіштігі.

бес валентті мышьякті қолданайық. Сонда оның төрт электроны кремнийдің көршілес атомының төрт электронымен ковалентті (қосарлы электронды) байланыс жасайды, ал бесінші электрон ковалентті байланысқа қатыспайды (19-сурет) және сондықтан кремний атомдарының валенттік электрондарына қарағанда әлдеқайда жоғарырақ энергетикалық деңгейде болады. Бұл энергетикалық деңгей кремнийдің тыйым салынған зонасындағы өткізгіштік зонасы астында орналасады.

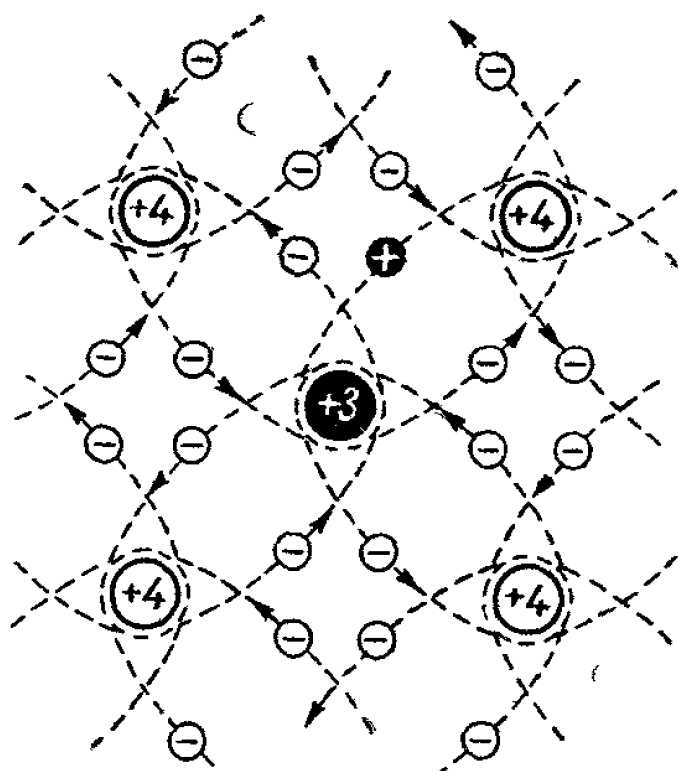
44. Кемтікті өткізгіштік қасиеті бар шала өткізгіш шығарып алу үшін *p* типтес<sup>1</sup>, **акцепторлы**<sup>2</sup> қоспаңы пайдалану керек. Қоспалы атомдардың электрондармен толтырылмаған деңгейлері шала өткізгіштің тыйым салынған зонасында болады да, бірақ валент-

<sup>1</sup> Ағылшынның «positive», яғни «оң» деген сөзінен алынған.

<sup>2</sup> «Акцептор» деген сөз «қармаушы» дегенді білдіреді.



20-сурет. Шала өткізгіштің қоспалы электр өткізгіштігі. Акцепторлы қоспаның кемтіктері толтырылған өткізгіштік зонасына өтеді. Сонда кемтіктік типті шала өткізгіш пайда болады.



21-сурет. Кремнийдің кемтіктік өткізгіштігі.

тік зонаға таяу орналасады (20-сурет). Бұл жағдайда электрондардың валенттік зонадан қоспаның бос деңгейіне ауысуы үшін, химиялық таза шала өткізгішке қарағанда, өте аз энергия қажет болады.

Жылулық қозғалыс кезінде электрондар валенттік зонадан қоспаның энергетикалық деңгейлеріне ауысады да, сөйтіп валенттік зонада кемтіктер пайда болады.

Мысал ретінде кремнийдің индиймен қоспасын қарастырайық (21-сурет). Индий үш валентті, демек, бұл — кремнийдің көршілес төрт атомымен байланыстарының бірі үзілді деген сөз, оған электрон жетіспейді, олай болса мұнда кемтік пайда болды. Ал мышьяктің электрондарына қарағанда, индийдің валенттік электрондарының энергиясы аз болғандықтан

да, олар кремнийдің валенттік зонасына жақын орналасады. Шала өткізгіштің кристалдық решеткисында қоспалы атомдар бір-бірінен алыс орналасқан, тіпті олар өз ара әсер етпейді деуге болады, сондықтан да қоспалар атомдарының энергетикалық деңгейлері ыдырамайды.

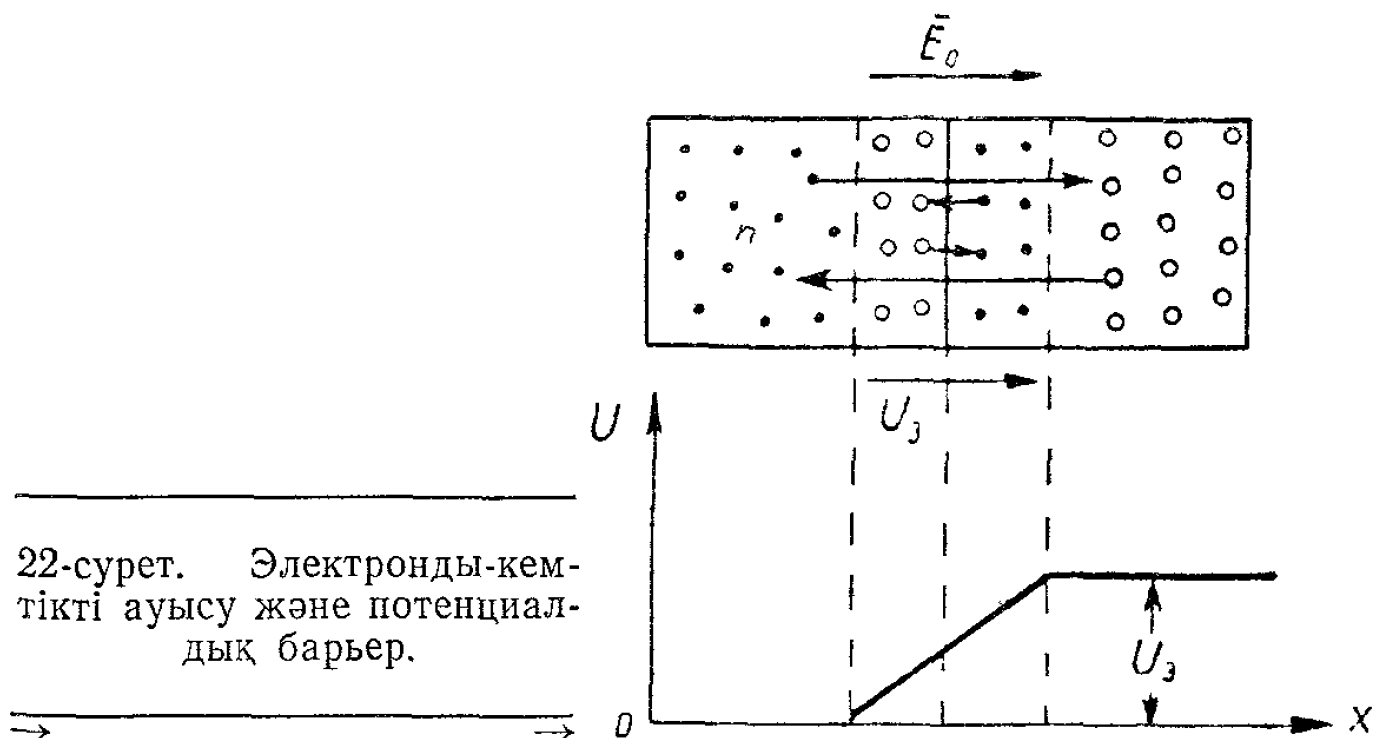
45. Қоспаның тіпті өте аз мөлшері шала өткізгіштің электрлік қасиеттерін күшті өзгертеді. Мысалы, егер германийдің әрбір миллион атомына тек қана бір атом қоспа кіргізсек, онда оның өткізгіштігі мың есе артады.

## § 6. Электронды-кемтікті ауысудың қасиеттері

46. Электронды-кемтікті ауысу деп өткізгіштігі әр типтес екі шала өткізгіштің тиісу шекарасындағы аймақты айтады.  $n$  және  $p$  типті шала өткізгіштер бір кристалдың өзінде қоспалардың көмегімен жасалады. Бұл шала өткізгіштердің тиіскен шекарасы арқылы кристалдың  $n$  аймағынан  $p$  аймағына электрондар, ал кері бағытта кемтіктер өтеді (диффундирлейді). Кемтікті шала өткізгіште, электр зарядтарын негізгі тасушылар — кемтіктерден басқа қосалқы (негізгі емес) тасушылар —  $n$  және  $p$  аймақтарының бөліну шекарасында — электрондар пайда болады; электронды шала өткізгіште негізгі тасушылар — электрондардан басқа, шекарас қабатта қосалқы тасушылар — кемтіктер пайда болады (22-сурет).

$n$  және  $p$  шала өткізгіштердің бөліну шекарасында рекомбинация: кемтіктерді электрондардың толтыруы жүріп жатады. Осының салдарынан шала өткізгіштердің шекаралас қабатында негізгі тасушылардың концентрациясы азаяды, ал қабаттардың кедергісі артады. Кедергінің арту аймағы жаппалы қабат деп аталады. Оның қалыңдығы өте аз:  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  м шама-сында.

Шекаралас қабаттар арасында қосалқы заряд тасушылар потенциалдардың контактілік айырымын және соған сәйкес электр өрісін туғызады (22-суретте осы өрістің кернеулік векторы

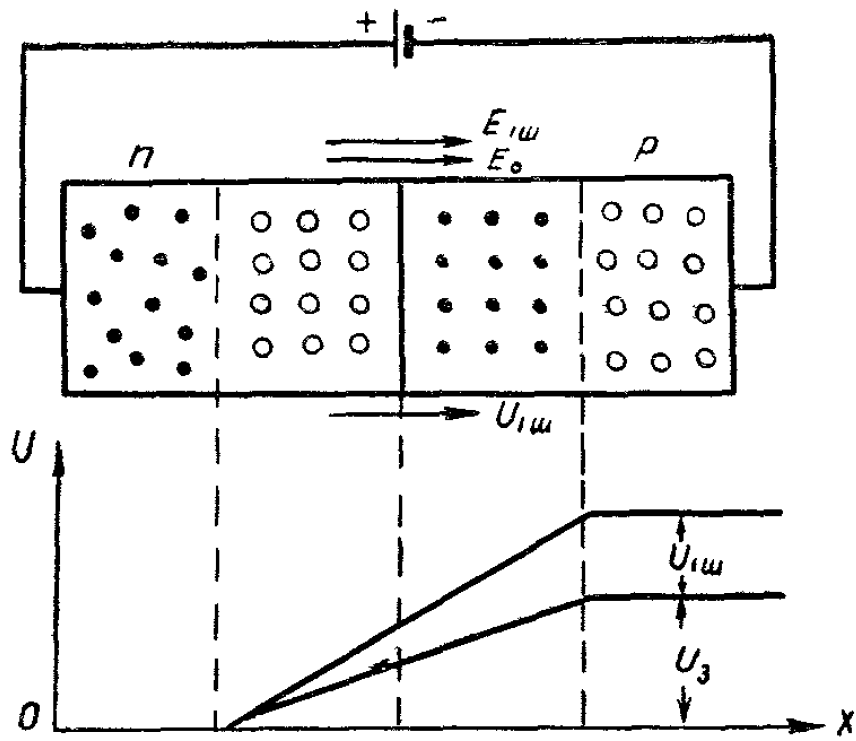


22-сурет. Электронды-кемтікті ауысу және потенциалдық барьер.

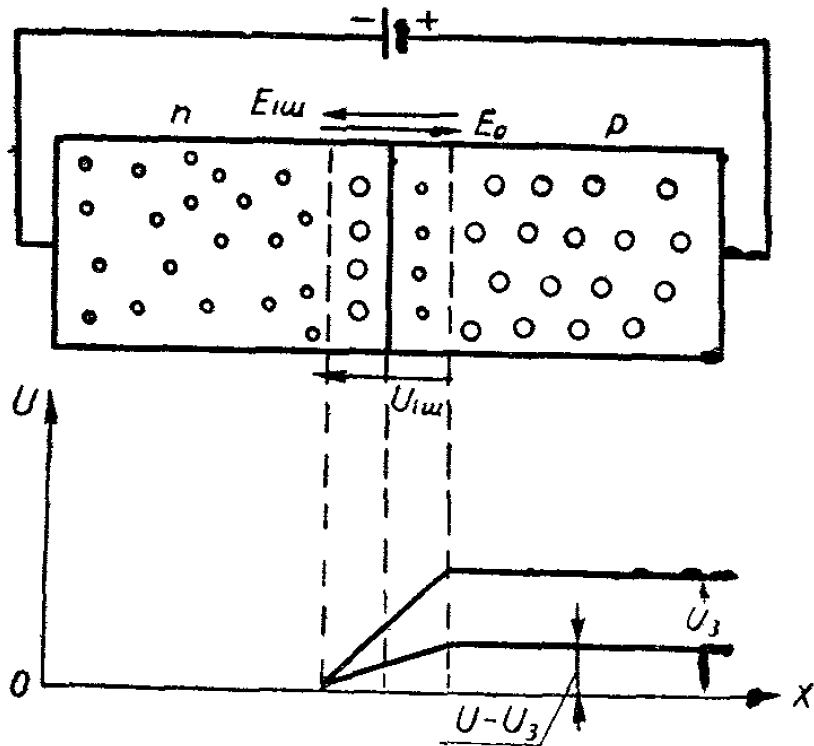
$\vec{E}_0$  кескінделген).  $\vec{E}_0$  өрісі заряд тасушылардың электронды-кемтікті ауысуы арқылы орын ауыстыруына бөгет жасайды.

Егер электронды шала өткізгіштің потенциалын ноль деп алсақ, онда жаппалы қабаттағы потенциалдардың бөліну графигі 22-суретте көрсетілген қисықпен кескінделеді. Одан көргеніміздей, потенциалдардың контактілік айырымы потенциалдық барьер туғызады.

$E_0$  өрісінің әсерінен қосалқы заряд тасушылар бір шекаралас қабаттан екіншіге жөңкіп көшеді. Сондықтан электронды-кемтікті ауысу динамикалық тепе-теңдік күйде болады, яғни әрбір уақыт бірлігі ішінде  $n$  және  $p$  шала өткізгіштердің бөліну шекарасы арқылы қарама-қарсы бағытқа белгілі бір мөлшерде негізгі заряд тасушылар диффузияланады және



23,а-сурет. Ток көзін кері (жаппалы) бағытта қосу.



23,б-сурет. Ток көзін тура бағытта қосу.

сондай мөлшерде қарсы бағытқа қосалқы заряд тасушылар жөнқиді.

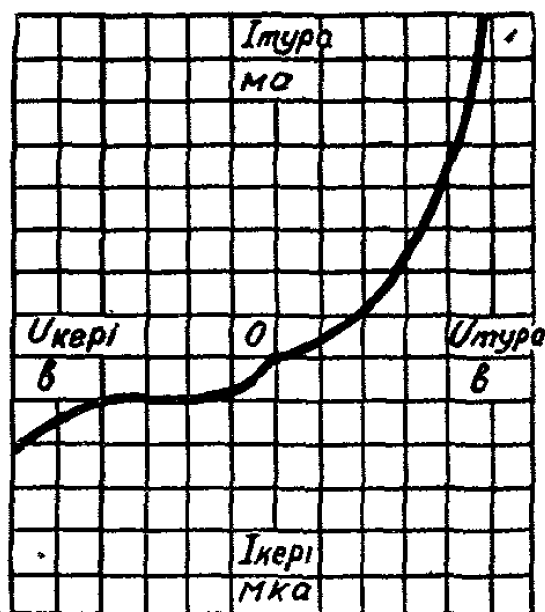
47. Сыртқы ток көзін қосқанда, 23,а-суретте көрсетілгендей, сыртқы электр өрісі бағыт жағынан ішкімен бағыттас болады да, потенциалдық барьердің шамасы артады. Сыртқы өрістің әсерінен шала өткізгіштердің шекаралас аймағынан негізгі заряд тасушылар қашықтайды да, жаппалы қабат қалындайды, сөйтіп, оның кедергісі артады. Тізбектен тек аздаған кері ток жүреді ( $E_0$  өрісінің әсерінен қосалқы заряд тасушылар қозғалады).

Егер ток көзінің полярлылығын өзгертетін болсақ (23,б-сурет), онда сыртқы өріс  $E_0$  өрісіне қарсы бағытталады да, потенциалдық барьер төмендейді, ал жаппалы қабат жұқарады, яғни оның ені кемиді, сөйтіп, тізбектен айтарлықтай ток жүреді (былайша айтқанда, бұл  $p-n$  ауысудың тура немесе өткізгіш бағыты болады).

Сөйтіп, электронды-кемтікті ауысу іс жүзінде бір бағытты өткізгіштік қасиетке ие. Оның бұл қасиеті шала өткізгішті диодтарда қолданылады.  $p$  типтес шала өткізгіш анод, ал  $n$  типтесі катод болады.

48. Енді электронды-кемтікті ауысудың вольт-амперлік характеристикасын қарастырайық (24-сурет).

Токтың тура бағытында вольттің оннан біріндей кернеу тізбекте айтарлықтай ток туғызады. Ең алғаш тура токтың характеристикасы түзу сызықты болмай, иілмелі болады, өйткені ток көзінің кернеуі аз кезде жаппалы



24-сурет Электронды-кемтікті ауысудың вольт-амперлік характеристикасы.



палы қабаттың кедергісі әлі де көп болады. Сыртқы кернеу одан әрі артқанда потенциалдық барьер тез азаяды да, іс жүзінде нольге жақындайды, тек  $n$  және  $p$  шала өткізгіштердің кедергісі ғана қалады және характеристика шынында да түзу сызықты болады. Оның біршама түзу сызықты еместігі токтың әсерінен диодтың қызатындығымен түсіндіріледі.

Токты кері өзгертіп қосқанда, ток ең алдымен тез өседі (23,а-сурет), өйткені бұл кезде заряд тасушылардың диффузиясы кенет төмендейді. Потенциалдық барьер өсетін болғандықтан, кернеу ондаған вольт артқанда ток не бары ондаған микроамперге артады.

Одан әрі ток шамалы ғана өседі. Кернеудің қайсыбір мәнінде электронды-кемтікті ауысуды электрлік тесіп өту пайда болады, бұл кезде кері ток күрт өседі, ал жаппалы қабаттың кедергісі де кенет төмендейді.

Электронды-кемтікті ауысу характеристикасының түзу сызықты еместігі оның Ом заңына бағынбайтындығын көрсетеді.

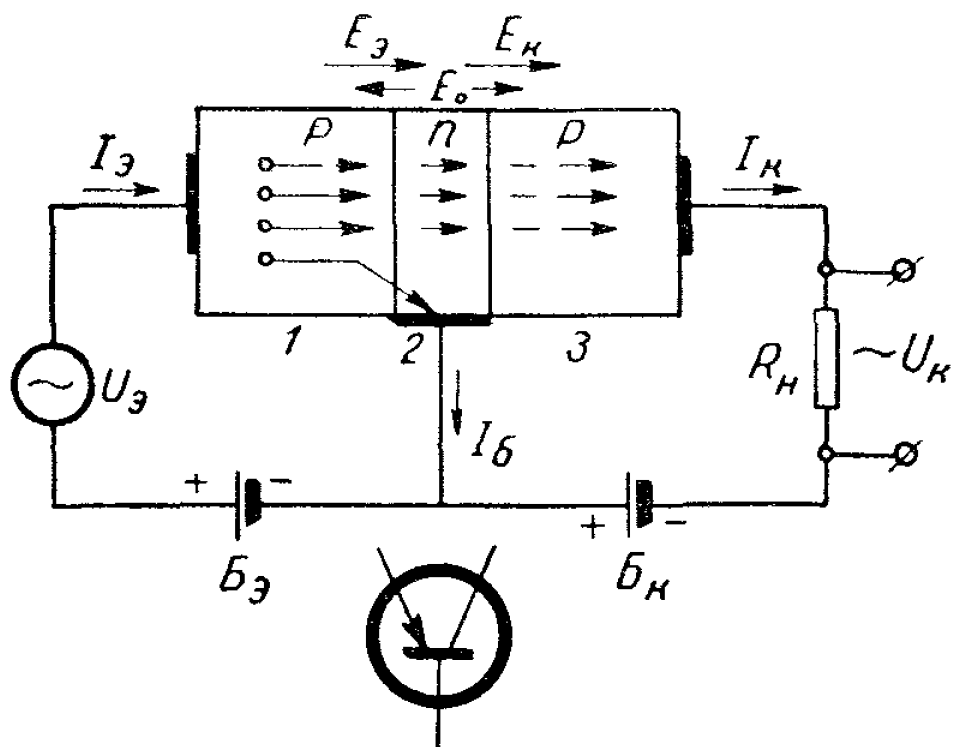
Электрлік тесіп өтудің туннельдік түрі бір назар аударарлық жай, өйткені мұндай тесіп өтуде, электрон қабатты өз энергиясын өзгертпей тесіп өтеді.

## § 7. $n-p-n$ ауысудың қасиеті

49.  $n-p-n$  немесе  $p-n-p$  типтес электронды-кемтікті ауысу **транзисторлар** деп аталатын шала өткізгішті триодтарда (үш электродты приборларда) қолданылады.

50.  $p-n-p$  типтес триодта шеткі аймақтардың электрондық өткізгіштігі (25-сурет), ал ортадағы өте жұқа аймақтың кемтікті өткізгіштігі болады. Ондағы 1-аймағы — триодтың эмиттері, 2-аймағы — базасы, немесе негізі, 3-аймағы — коллектор деп аталады.

Эмиттер тура (өткізуші) бағытта қосылады, ол



25-сурет.  $p-n-p$  типті триод:  
 1 — эмиттер; 2 — база (негізі); 3 — коллектор.

электрондарды немесе кемтіктерді инжекциялайды (шығарады), триодтардың  $p-n-p$  немесе  $n-p-n$  түрлеріне қарай, коллектор жабушы бағытқа қосылады, сөйтіп, ол электрондарды (немесе кемтіктерді) жинайды, яғни қабылдайды.

$p-n-p$  типті триодта болатын процестерді біраз жүйелі қарастырайық. Қоректендіру көзін ( $B_3$ ) қосқанда (25-сурет) эмиттерлік ток ( $I_3$ ) пайда болады. Бұл ток негізінен эмиттердің базаға инжекциялайтын (шығаратын) кемтіктерінен пайда болады да, азғантай ғана бөлігі эмиттерден базаға көшетін электрондардан пайда болады (базаның донорлық қоспасынан гөрі эмиттер акцепторлық қоспамен көбірек қаныққан).

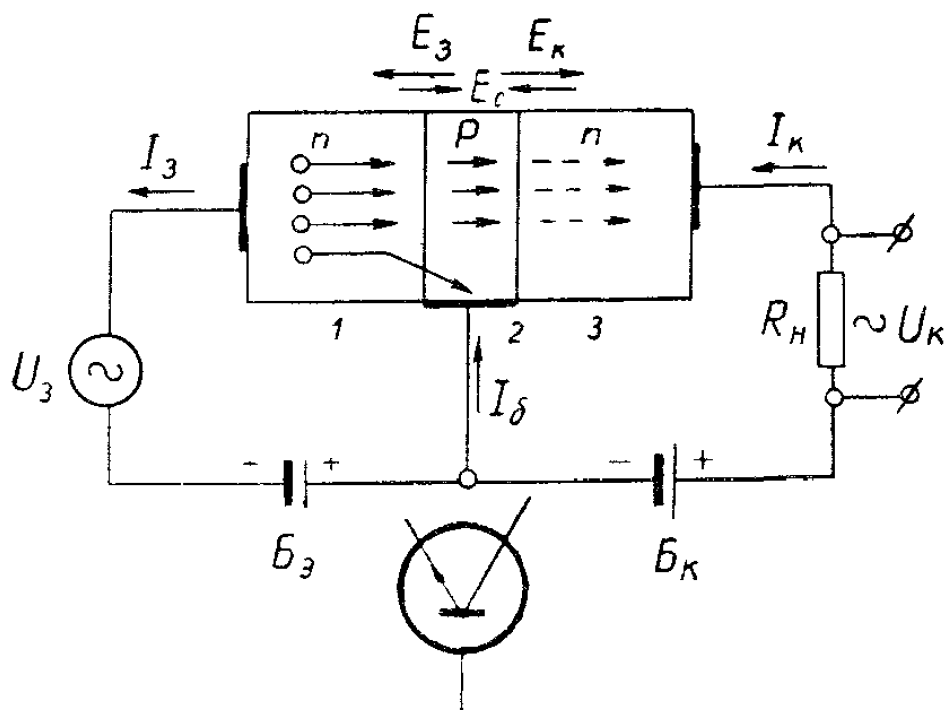
Базаға түскен кемтіктер негізгі заряд тасушылар емес, олар бірден екі процеске түседі: бірі — диффузия процесі, мұның нәтижесінде кемтіктер бүкіл база көлеміне біркелкі бөлінуге тырысады, екіншісі — негізгі заряд тасушылармен — электрондармен — рекомбинациялану процесі. База құрамында донорлық қос-

пасы аз  $n$  — шала өткізгіштен жасалады. Базада еркін электрондардың концентрациясы аз болады, сондықтан базаға түскен кемтіктердің біразы ғана рекомбинация процесіне қатысады.

Сыртқы тізбектен базаға базалық ток ( $I_{\delta}$ ) түзетін жаңа электрондар келеді. База жұқа болғандықтан эмиттер инжектирлейтін кемтіктердің негізгі массасы базаның бүкіл қабатына диффузияланады да, коллектордың электр өрісінің әсеріне ұшырайды, сөйтіп кемтіктердің  $n - p$  ауысуы арқылы коллектор аймағына жөнкіле көшуі басталады, яғни коллекторлық тізбекте  $I_{\kappa}$  ток пайда болады.

Эмиттер тогы жоқ кезде коллектор тізбегінен қосалқы заряд тасушылар туғызған аздаған бастапқы ток жүреді.

51.  $n - p - n$  типті транзистордың (26-сурет) жұмыс принципі де осыған ұқсас. Эмиттер база аймағына электрондарды инжектирлейді. Ал электрондардың аздаған бөлігі ғана базадағы кемтіктерді реком-



26-сурет.  $n - p - n$  типті триод.

бинациялайды, ал олардың дені бүкіл база көлеміне диффузияланады да, оларды коллектордың электр өрісі қармап алады, сөйтіп, электрондар  $p-n$  ауысуы арқылы коллектор аймағына жөнкіледі де, коллектор тізбегінде ток пайда болады.

**52.** Транзисторларда екі электронды-кемтікті ауысу пайдаланылады. Көп қабатты электронды-кемтікті ауысуларды пайдаланатын приборлар да бар (мысалы, ауыстырып-қосушы диодтар мен триодтар — диносторлар және тиристорлар).

Транзисторлардың вольт-амперлік характеристикаларымен біз III тарауда танысамыз.

## § 8. Электрондық эмиссия

**53.** Электрондық эмиссия деп қатты және сұйық денелерден электрондардың шығу құбылысын айтады.

Электрондық-вакуумдық приборларда электрондарды эмиттирлейтін дене вакууммен және газбен қоршалған. Заттан бөлініп шыққан электрон еркін электронға айналады. Қалыпты жағдайда электрондар энергиясы олардың заттан бөлініп шығуы үшін жеткіліксіз. Ал егер электронға сырттан қажетті энергияны беретін болсақ, мысалы, денені қыздырсақ, онда электрондардың кинетикалық энергиясы артады, сөйтіп, олардың кейбіреулері заттан ұшып шыға алады, яғни электрондардың эмиссиясы байқалады. Бұл жағдайдағы эмиссияны **термоэлектрондық** деп атайды. Өйткені электрондар қосымша энергияны жылу энергиясы түрінде қабылдады. Бірақ электрондардың эмиссиясы үшін қажетті қосымша энергияны оларға басқа жолдармен: денені элементар бөлшектермен атқылау, жарық сәулесін түсіру, рентген сәулесімен әсер ету, электр өрісінің әсерімен де қосымша энергия беруге болады. Денелердің электрондарына қосымша

энергия берудің тәсілдеріне байланысты эмиссиялар төмендегі түрлерге ажыратылады:

**термоэлектрондық эмиссия** — денені қыздырғанда пайда болады;

**электростатикалық** — (автоэлектрондық немесе суықтық) эмиссия күшті электр өрісінің әсері есебінен пайда болады;

**екінші реттік эмиссия** — металды тез ұшатын электрондармен атқылау кезінде байқалады: (электрондардың бұл ағымы басқа бір жағдайда, мысалы, термоэлектрондық эмиссия кезінде пайда болады);

**фотоэлектрондық эмиссия** — заттардың жарық әсерінен электрондар шығаруынан болады.

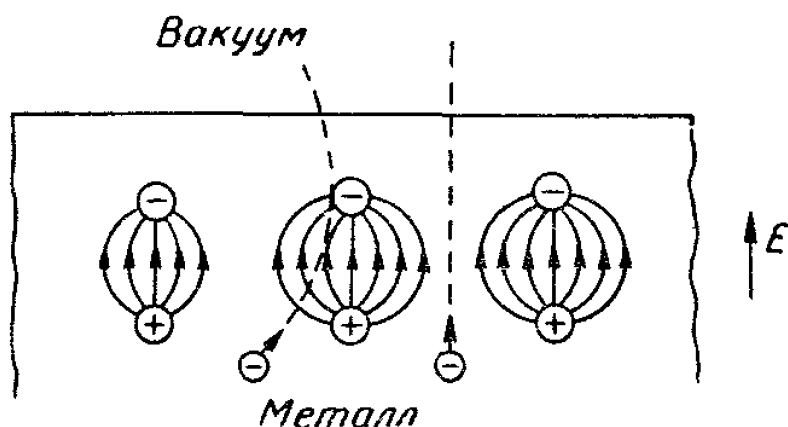
Электрвакуумдық приборларда электрондарды эмиттирлеуші электрон катод болып табылады. Электр өрісінің әсерінен электрондар екінші электродқа — анодқа қарай ұшады.

## § 9. Электрондардың шығу жұмысы

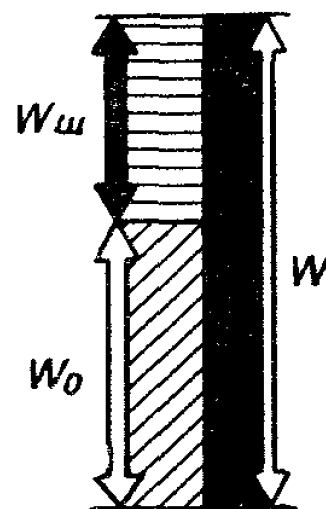
54. Абсолюттік ноль температурада металдағы ортақтастырылған электрондар ең төменгі электрлік деңгейге орналасады. Олардың әрқайсысында қарама-қарсы бағытталған спиндары бар екі-екі электроны болады. Ең жоғарғы деңгейде электрон энергиясы 5—10 эв шамасында болады (Ферми деңгейі, немесе Ферми шекарасы —  $W_0$ ). Ферми — Дирак статистикасы деп аталатын статистика  $T=0^\circ\text{К}$  болғанда энергиясы  $W_0$ -ден асатын электрондар болмайды деп тұжырымдайды. Температура жоғарылағанда энергиясы  $W_0$ -ден асатын электрондар пайда болады.

Қалыпты жағдайда термоэлектрондық эмиссия іс жүзінде байқалмайды. Ал  $W_0$  энергиялы электрондар металл шекарасын тастап кетуге әлі де болса қабілетті емес. Электрондардың эмиссиясына өткізуші дененің бетіндегі қос электрлі қабат кедергі жасайды. Қос

электрлі қабат жылулық қозғалыстағы электрондардың қайсыбіреулерінің материал мен оны қоршаған ортаның (вакуумның) шекарасына келіп түсіп, онда теріс зарядтар қабатын түзуінен пайда болады. Сонда электрондық қабыршақ пен кристалдың оң ионы арасында металдан электрондардың шығуына бөгет жасайтын электр өрісі пайда болады (27-сурет).



27-сурет. Металл бетіндегі қос электрлік қабат.



28-сурет.  $W_0$  — Ферми деңгейі  
 $W_{ш}$  — эффективті шығу жұмысы;  
 $W$  — электронның заттан толық шығу жұмысы.

Егер электрондардың біраз бөлігі металдан ұшып шығатын болса, онда металл оң зарядталған болады. Сонда металл мен ұшып шыққан электрондар арасында электрондарға тежегіштік әсер ететін электр өрісі пайда болады.

**Толық шығу жұмысы** (28-сурет) мынаған тең:

$$W = W_0 + W_{ш}. \quad (12)$$

Электрон металдың ең терең қойнауынан шығып, оны тастап кету үшін, ол мынадай кинетикалық энергия алуы керек:

$$\frac{mv^2}{2} \geq W_0 + W_{ш}, \quad (13)$$

мұндағы  $v$  — металл бетіне перпендикуляр бағыттағы электрон жылдамдығы.

Жоғарғыда айтылғандардан: электронның шығу жұмысы дегеніміз оның металды Ферми деңгейінен тастап шыққанда атқарған жұмысы болады деген қорытынды жасауға болады.

Кейбір элементтер үшін шығу жұмысының мәндерін келтірейік:

Элемент	Шығу жұмысы (эВ)	Элемент	Шығу жұмысы (эВ)	Элемент	Шығу жұмысы (эВ)
Цезий	1,89	Мырыш	3,74	Селен	4,72
Барий	2,52	Кремний	4,10	Германий	4,56
Торий	3,41	Вольфрам	4,52	Никель	4,84

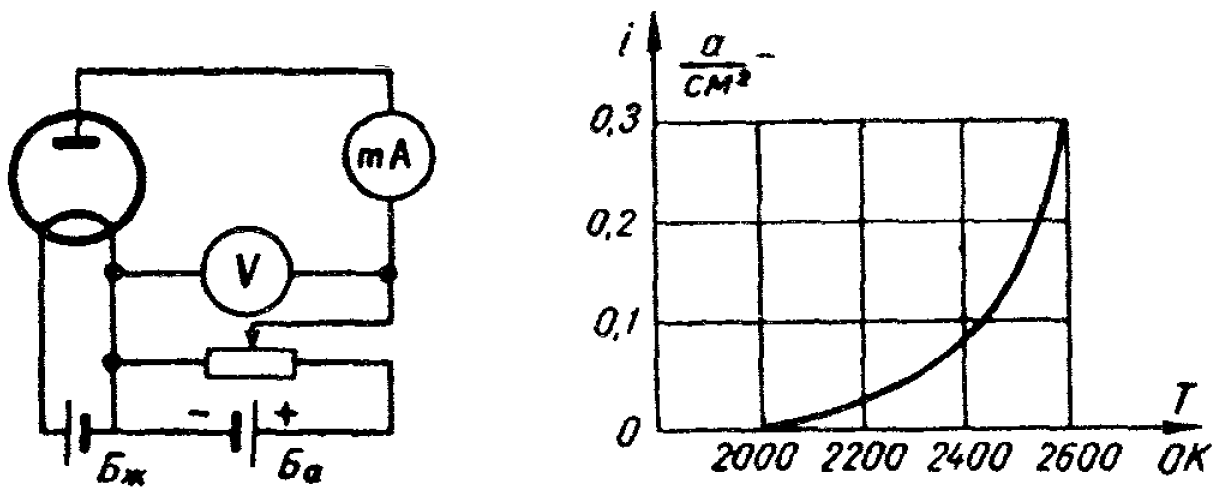
## § 10. Термоэлектрондық эмиссия

55. Электрондық және иондық приборларда металдар мен шала өткізгіштердің термоэлектрондық эмиссиясы қолданылады. Эмиссияның бұл түрін алғаш рет американ өнер тапқышы *Томас Альва Эдиссон* 1833 жылы тапқан, одан кейін оны *И. Ленгмюр*, *О. Ричардсон*, *В. Шотки*, *А. Венельт* сияқты ғалымдар кеңінен зерттеген.

56. Электрвакуумдық приборларда электрондарды эмиттирлеуші электрод (**катод**) газбен және вакууммен қоршалған.

Катодтың температурасының жоғарылауына қарай өткізгіштік электрондардың энергиясы артады, яғни олардың шығу жұмысын атқару үшін жеткілікті болуы мүмкін.

Катодтан ұшып шыққан электрондар оның айна-



29-сурет. Катодтың меншікті электрондық эмиссиясының температураға тәуелділігінің графигі (оң жақта) және осы графигті алуға арналған қондырғының схемасы.

ласында электрондық «атмосфера» («электрон бұлтты») жасайды, яғни бұл өзімізге белгілі қаныққан бұды еске түсіреді. Бұл «бұлттағы» электрондардың жылдамдығы әр түрлі, олардың біразы катодқа қайыра оралады, ал оның орнын жаңадан ұшып шыққан электрондар толтырады, сөйтіп катодтың айналасындағы электрондық «атмосфера» әрдайым динамикалық тепе-теңдікте болады.

57. Енді приборда электр өрісін туғызайық: мысалы, егер бұл вакуумдық диод болса, онда анодқа он потенциал береміз (29-сурет). Осы өрістің әсерінен электрондар анодқа қарай ұшады. Ал енді катодтан эмиттирленген барлық электрондар электр өрісі әсерінен оны түгел тастап кететіндей анодтық кернеу берейік, міне, осы кездегі лампыдағы анодтық ток эмиссия тогы ( $I_a$ ) деп аталады.

Тәжірибе эмиссия тогы катод температурасының өзгеруіне тәуелді екенін көрсетеді. 29-суретте мұндай тәуелділіктің вольфрам катод үшін графигі көрсетілген. Онда температура шамамен  $2000^\circ\text{K}$  жеткенше эмиссия құбылысы шын мәнінде байқалмайды. Температура одан әрі ұлғайғанда шығу жұмысына қа-



жетті энергия алатын электрондар саны барған сайын арта түседі, сөйтіп эмиссия тогы ( $I_{\text{э}}$ ) артады.

58. Әдетте эмиссиялық қасиет эмиссиялық токпен емес, меншікті электрондық эмиссиямен сипатталады.

**Меншікті электрондық эмиссия** деп, катод эмиттирлеген электрондар сыртқы электр өрісінің әсерінен түгелімен оны тастап кеткен жағдайда, катод бетінің бірлік ауданынан алынатын эмиссиялық токты айтады. Ол былай анықталады:

$$i_{\text{э}} = \frac{I_{\text{э}}}{S}. \quad (14)$$

Өлшеу бірліктері:  $\frac{ма}{мм^2}$ ,  $\frac{а}{см^2}$ ,  $\frac{а}{м^2}$ .

Катодтың аса маңызды тағы бір характеристикасы — оның эффективтілігі. Өзімізге белгілі электровакуумдық приборлардың қыл сымы электр тогымен қызады. Олай болса әрбір лампы үшін қыздыру тогы мен кернеудің белгілі бір жұмыстық шамасы бар. Демек, олай болса, қыздыру қуаты мынадай болады:

$$P_{\text{к}} = U_{\text{к}} \cdot I_{\text{к}}.$$

**Катодтың эффективтілігі** (үнемділігі) деп мынаған тең болатын шаманы айтамыз:

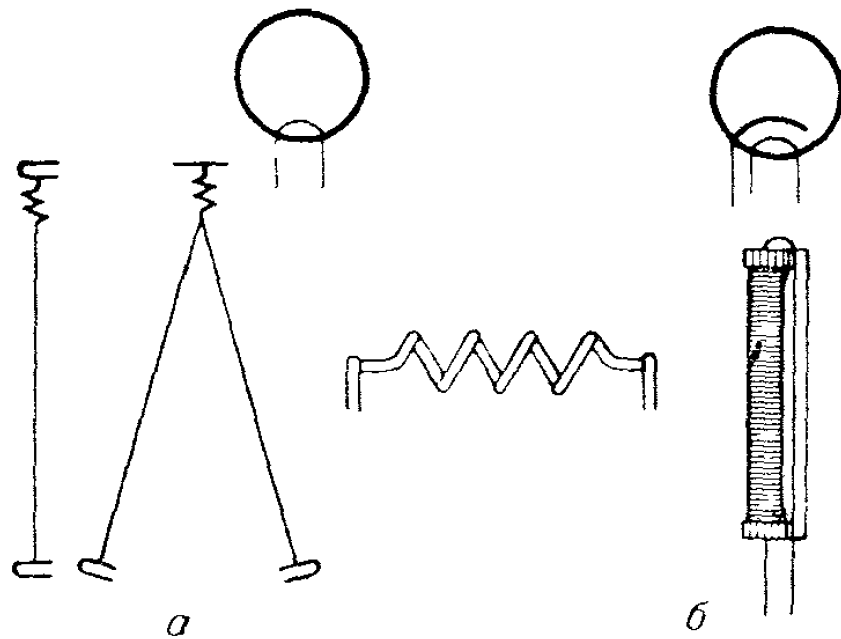
$$H = \frac{I_{\text{э}}}{P_{\text{к}}} \quad (15)$$

Бұл  $ма/вт$  өлшемімен өлшенеді.

Сонымен бірге катод қызмет ету мерзімімен және жұмыс температурасымен де сипатталады.

## § 11. Қарапайым және күрделі катодтар

59. Электрондық лампылардың катодтары, қыздыру тәсілдеріне қарай, тура және жанама болып келеді (30-сурет).



30-сурет. Тура (а) және жанама (б) қыздыру катодтары.

Егер қыл сым бір жағынан катод ролін атқарса, онда бұл тура қыздыру катоды. Тура қыздыру катодын көп жағдайда айнымалы токпен қыздыруға болмайды, өйткені жылулық инерцияның аздығынан катодтың температурасы периодты түрде өзгереді және сондай жиілікпен эмиссия тогы да өзгертін болады.

Жанама қыздыру катодтарында катод ретінде активтендіруші зат жалатылған никель түтік қолданылады да, түтіктің ішінде жылуға берік изоляциялық материал — алундпен қапталған қыл сым болады.

Жанама қыздырылатын катодтарды совет академигі А. А. Чернышев 1921 жылы ұсынған.

**60. Қарапайым катодтар** вольфрамнан (кейде танталдан) жасалған тура қыздыру катодтары болып табылады. Бұлардың ерекшелігі — эмиссиялық қасиеттері тұрақты болады. Вольфрам буы электрондық лампының баллон ішіндегі газ қалдығын жұтып, ондағы вакуумдықты жақсартады. Бірақ вольфрамның шығу жұмысы жоғары, ал жоғары жұмыстық темпе-

ратура кезінде вольфрам буланады да, катодтың қызмет ету мерзімі азаяды.

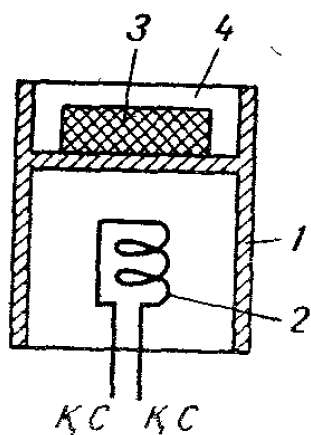
**61. Күрделі катодтар** дегеніміз — шығу жұмысын азайту, эффективтілігін арттыру, жұмыстық температураны төмендету, катодтардың қызмет ету мерзімін ұзарту үшін активтендірілген заттармен қапталған, тура және жанама қыздыру катодтары.

**Активтендірілген катодтар** қабыршақты және шала өткізгішті болады.

**62. Қабыршақты катод** — цезий, торий, барий, вольфрам карбиді сияқты активтендіруші заттардың бір атомды қабатымен қапталған металл негіз болып табылады.

Активтендіруші заттардың валенттік электрондары металл негізге ауысады, өйткені осы электрондардың энергиясына сәйкес келетін металдағы энергетикалық деңгей бос. Қаптаған заттың пайда болған он иондары мен металдың арасында эмиссияның электрондарын шапшаңдататын электр өрісі пайда болады.

Цезиймен немесе ториймен қапталған катодтар өте сирек қолданылады, өйткені бұл заттар аса қызыған катодтың бетінен интенсивті түрде буланады. Ең жаңа барирленген катодтарда (**Лемейс** ойлап тапқан **Л** — катодтарда) вольфрамның кеуек беті эмитирлеуші қабыршақ болып табылады (31-сурет), оның астында барий тотығы мен барий бериллаты таблеткасы тұрады. Катодты қыздырған кезде металл барий өзінің қосылыстарынан бөлініп, катодтың бетіне шығады.



31-сурет. **Л** — катод;

1 — молибден цилиндр; 2 — қыздыру қыл сымы; 3 — эмитирлеуші затты қуыс; 4 — борпылдақ вольфрам.

Карбидтелінген катодтарда қабыршақ қабық вольфрам карбидінен түзіледі, ал вольфрамға торий қосылған.

**63. Шала өткізгішті катодтарға** ең көп таралған оксидтік катодтар жатады. Мұндай катод барий, стронций және кальций тотықтары қабатымен қапталған никель немесе вольфрам өткізгіш болып келеді.

Оксидтік катодтың жұмыс теориясы әлі жете зерттелген жоқ. Әзірше оксидтік қабатты электронды типтес қоспалы шала өткізгіш болып табылады деуге болады. Оның валенттік электрондарының деңгейі металл өткізгіштің өткізгіштік зонасына жақын орналасады да, сол зонаны электрондармен толтырып тұрады.

Шығу жұмысының төмендеуі активтендіруші затың атомдары бір-бірінен айтарлықтай қашықтықта орналасқандықтан болуы керек.

Жұмыс кезінде барий буланады; ал оның активтендіруші қабаттың бетіндегі концентрациясы оксидтік қабаттың қойнауынан келетін атомдар есебінен қайта қалпына келтіріледі.

**64. Тапсырма:** мына таблицаны пайдаланып, түрлі катодтардың артықшылықтары мен кемістіктерін салыстырыңыздар.

Катод негізі		Активтендіруші зат		Катод			
Материал	Шығу жұмысы (эВ)	Материал	Шығу жұмысы (эВ)	Шығу жұмысы (эВ)	Үнемділігі ма/вт	Жұмыс температурасы (°K)	Қызмет мерзімі (сағ)
Вольфрам	4,5	—	—	4,5	2—10	2400—2700	500—1000
Вольфрам	4,5	Торий	3,4	2,7	30—50	1800—1900	1000 сағаттан астам
Молибден	4,2	Торий	3,4	2,6	—	—	
Вольфрам	4,5	Барий	2,5	1,5—1,6	70—120	750—900	

Катод негізі		Активтендіруші зат		Катод			
Материал	Шығу жұмысы (эВ)	Материал	Шығу жұмысы (эВ)	Шығу жұмысы (эВ)	Үнемділігі ма/вт	Жұмыс температурасы (°K)	Қызмет мерзімі (сағ)
Вольфрам	4,5	Барий (А-катод)	2,5	1,6	100—1000	1160—1600	1000 сағаттан астам
Вольфрам	4,5	Торий (вольфрам карбидінде)	—	1,5	50—70	1900—2000	
Никель	4,8	Оксид каптама ( $B_aSr$ )	—	1—1,2	50—100	1100—1200	

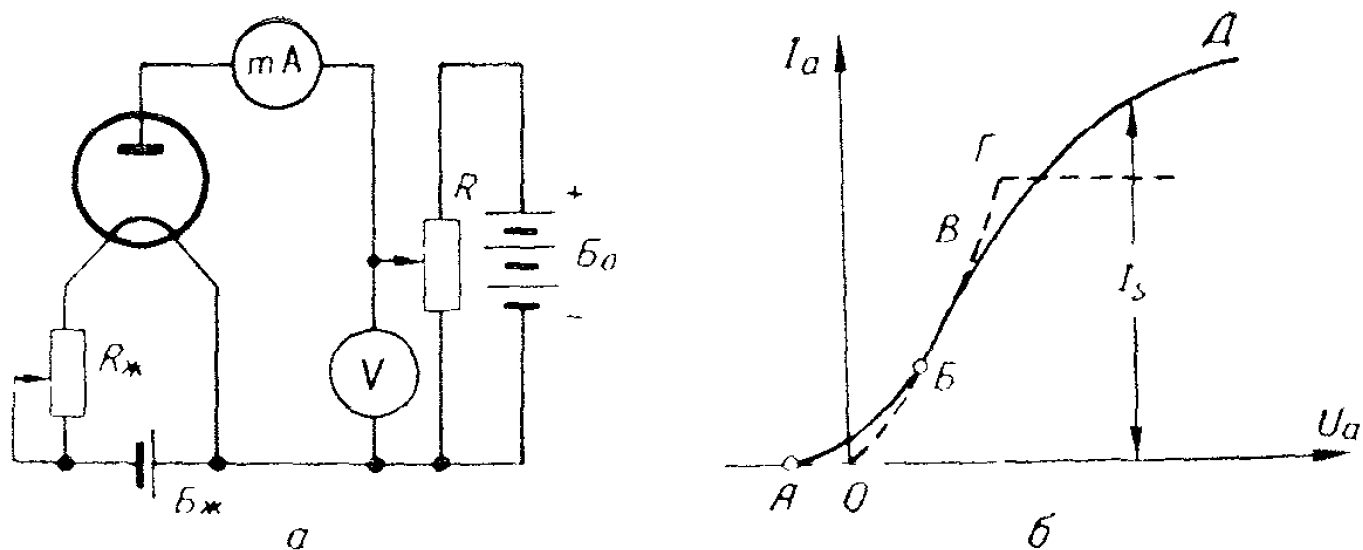
65. Егер активтендіруші зат металдан электрондарды тартып алатын болса, онда шығу жұмысы артады. Бұл жағдай катод оттегімен жанасқан кезде болады. Мұндайда, оттегі катодты «уландырды» дейді.

## § 12. Диодтың вольт-амперлік характеристикасы

66. Физика курсында біз қарапайым электрондық лампы — диодтың құрылысымен және жұмыс принципімен таныстық. Енді вакуумдағы электр тогының заңдылығын толығырақ қарастырайық.

67. Диодтың вольт-амперлік (анодтық) характеристикасы деп қыздыру кернеуі өзгермеген кездегі анодтық токтың өзгеруінің анодтық кернеудің өзгеруіне тәуелділігінің графигін айтады:

$$I_a = f(U_a), U_b = \text{const} \text{ болғанда.} \quad (16)$$



32-сурет. Диодтың вольт-амперлік характеристикасын алу.

32-суретте вольт-амперлік характеристиканы эксперимент жүзінде шығарып алу үшін диодты қосу схемасы және характеристиканың өзі көрсетілген. Анодтық ток пен кернеу арасында тәуелділік теория жүзінде *Ленгмюр-Богуславский* формуласымен өрнектеледі:

$$I_a = kU_o^{3/2} \quad (17)$$

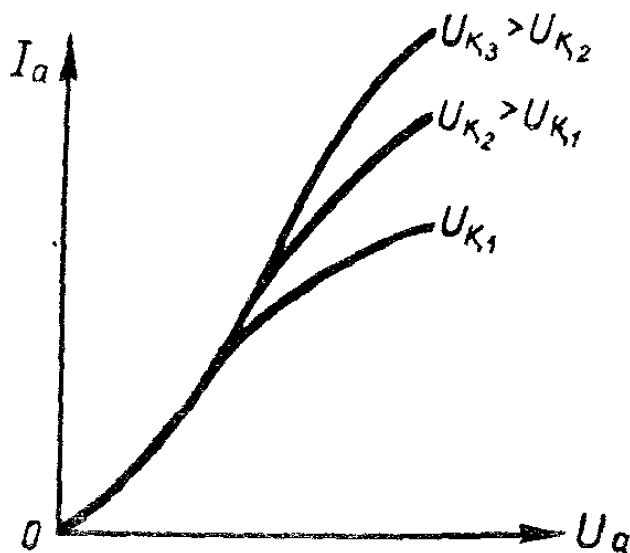
мұндағы  $k$  — лампының электродтарының өлшемі мен формасына тәуелді коэффициент. Бұл формула лампы арқылы өтетін ток Ом заңына бағынбайтындығын көрсетеді (Ом заңы бойынша ток бірінші дәрежелі кернеуге пропорционал; яғни  $I = kU$ ). Мұны қалай түсіндіруге болады?

68. Қызған катод электрондар шығарады. Олар катод айналасында теріс кеңістіктік заряды бар өзінше бір «электрондық атмосфера» («электрон бұлты») түзеді. Анодтық кернеу аз болғанда бұл зарядтың өрісі анодтың үдетуші өрісімен ілесіп бара жатқан электрондарға кедергілік әсер етеді. Сондықтан алдымен ток баяу өседі де, характеристикада бұл процесс имек сызықпен өрнектеледі (32,б-суретте ОБ участогы). Кейде теріс анодтық кернеу кезінде де аз-

даған анодтық ток байқалады (АБ участогы), мұны өте жоғары кинетикалық энергиялы электрондар тұғызуы мүмкін.

Анодтық кернеу одан әрі артқан сайын, өріс бірте-бірте электрондарды көбірек әкетеді де, катодтың айналасындағы электрон бұлты біртіндеп жойылады және анодтық ток өседі. Ең ақырында катод шығаратын барлық электрондарды өріс толық әкеткенде, анодтық кернеудің одан әрі артуы анодтық токты арттырмайды (Г нүктесі), сөйтіп қанығу деп аталатын кезең туады.

Алайда, шын мәнінде анодтық кернеу артқан кезде ток аз да болса артады (ВД участогы). Характеристиканың жоғарғы иілуі және қанығу аймағында токтың артуы катодтың анодтық токпен қосымша қызатындығымен және электрондардың эмиссиясына анод пен катод арасындағы электр өрісінің әсер етуімен түсіндіріледі. Сыртқы өрістің әсерінен шығу жұмысының өзгеруін, осы құбылыстың теориясын талдап шешкен неміс ғалымы В. Шотки есімінен, **Шотки эффектісі** деп атайды. Оксидтік катодтарда сыртқы шапшаңдатушы өрістің термоэлектрондық эмиссияға (Шотки эффектісі) әсері сондай зор, тіпті қанығу тогы режимі жалпы байқалмайды.



33-сурет Диодтың вольт-амперлік (анодтық) характеристикалар тобы.

Ол түсінікті де, қыздыру тогы артқанда электрондар эмиссиясы да өседі. Сондықтан қыздыру кернеуінің әр түрлі мәндерінде анодтық характеристикалар тобын (үйірін) аламыз (33-сурет).

Одан көргеніміздей, формула (17) характеристиканың тек төменгі бөлігі үшін ғана азды-көпті дұрыс екені байқалады.

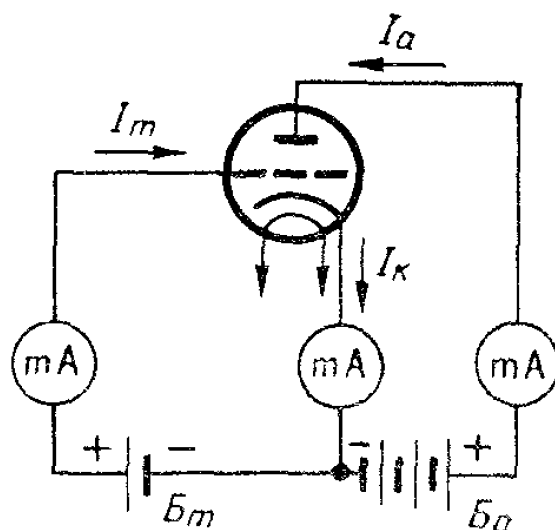
### § 13. Триодтың анод-торлық характеристикасы

69. Триодтың диодтан ерекшелігі сол, мұнда үшінші электрод — **тор** бар. Электрондық лампыларда тор көбіне спираль сым түрінде литийден, молибденнен, вольфрамнан, осы металдардың қорытпаларынан жасалады.

Тор анод пен катодтың аралығына орналасады. Тордың электр потенциалын өзгерте отырып, лампының анодтық тогын басқарады. Сондықтан бұл торды **басқарушы** деп атайды.

70. Тор мен катодқа ток көзін қосайық (34-сурет). Егер тор оң потенциалды болса, онда көлемдік электр өрісі тор — катод участогында бағыт жағынан анодтық кернеу туғызған өрістің бағытымен бағыттас болады, сөйтіп катодтан ұшып шыққан электрондар осы екі өріс әсерінен шашаңдайды да, анодтық ток артады. Электрондардың аз ғана бөлігін тор өрісі ұстап қалады да, торлық токты тудырады. Сонда катодтық ток анодтық және торлық болып екі тармаққа бөлінеді деуге болады.

Енді торлық кернеудің полярлылығын өзгертейік. Сонда тор мен катод арасын-



34-сурет. Үш электродты лампыны қосу схемасы.



дағы өріс лампыдағы негізгі өріске қарсы бағытталады және анодтық ток азаяды. Торлық теріс кернеу жеткілікті дәрежеде үлкен болғанда, анодтық ток тоқталады, мұндайда лампы «жабық».

Тор анодқа қарағанда катодқа әлдеқайда жақын, сондықтан торлық кернеу анодтық токқа анодтық кернеуден анағұрлым күшті әсер етеді.

Торлық кернеудің өзгеруі анодтық токқа анодтық кернеудің өзгеруінен неше есе күшті әсер ететінін көрсететін шама триодтың күшейту коэффициенті деп аталады.

Күшейту коэффициенті мына формуламен анықталады:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_T} \quad (I_a \text{ өзгермегенде}). \quad (18)$$

Күшейту коэффициенті  $\mu = 10$  болсын. Анодтық кернеуді  $\Delta U_a = 20 \text{ в}$  өзгерттік. Сонда анодтық ток өзгереді. Ал анодтық токтың мұндай өзгеруін, анодтық кернеуді өзгертпей-ақ, торлық кернеуді не бары:

$$\Delta U_T = \frac{\Delta U_a}{\mu} = \frac{20 \text{ в}}{10} = 2 \text{ в}$$

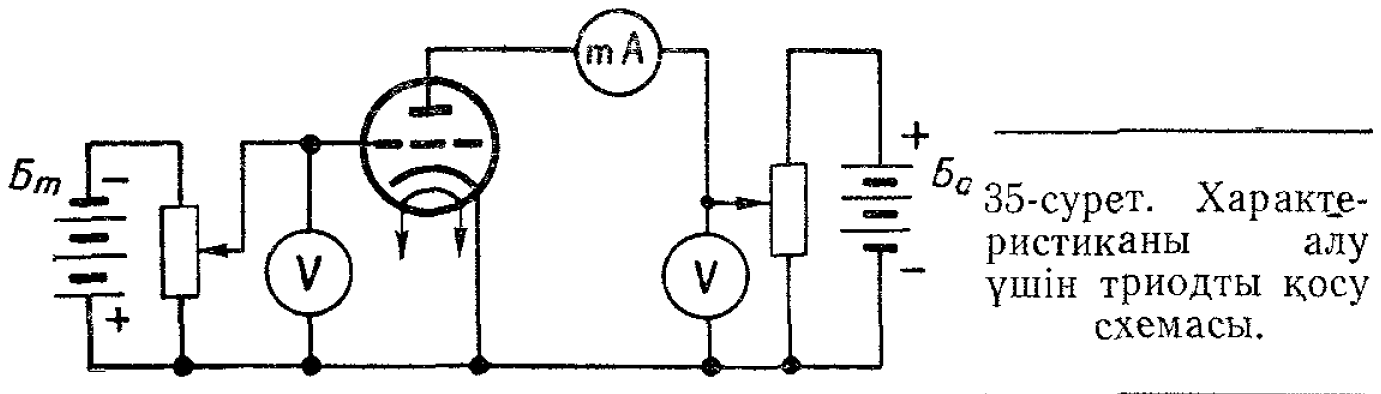
шамасына өзгертіп-ақ алуға болады екен.

Сонда, торлық кернеуді аз ғана өзгертіп, анодтық токты әлдеқайда кең аумақта басқаруға болады деген қорытындыға келеміз. Анодтық токтың осы қасиеті электрондық күшейткіштерде қолданылады да, оның үш электродты лампы торының оң потенциалында артатындығы пайдаланылмайды (бір айта кететін жай, алда біз күшейткіште лампының кері торлық кернеуде, торлық токсыз жұмыс істейтінін қарастырамыз).

**71.** Лампының анодтық тогының анодтық кернеу өзгермеген кезде торлық кернеудің өзгеруіне тәуелділігінің графигі 36,а-суретте көрсетілген. Бұл график **анод-торлық характеристика** деп аталады:

$$I_a = f(U_T), \quad (U_a = \text{const} \text{ болғанда}). \quad (19)$$

Характеристиканы алу схемасы 35-суретте көрсетілген. Онда ең алдымен анодтық ток нольге тең болатындай етіп, торға теріс кернеу беріледі. Торлық кернеуді өзгерте отырып, анодтық токтың ұлғаюын есепке алады.  $U_T = 0$  мәнінен кейін тор тізбегіндегі батареяның полярлығын өзгертеді.

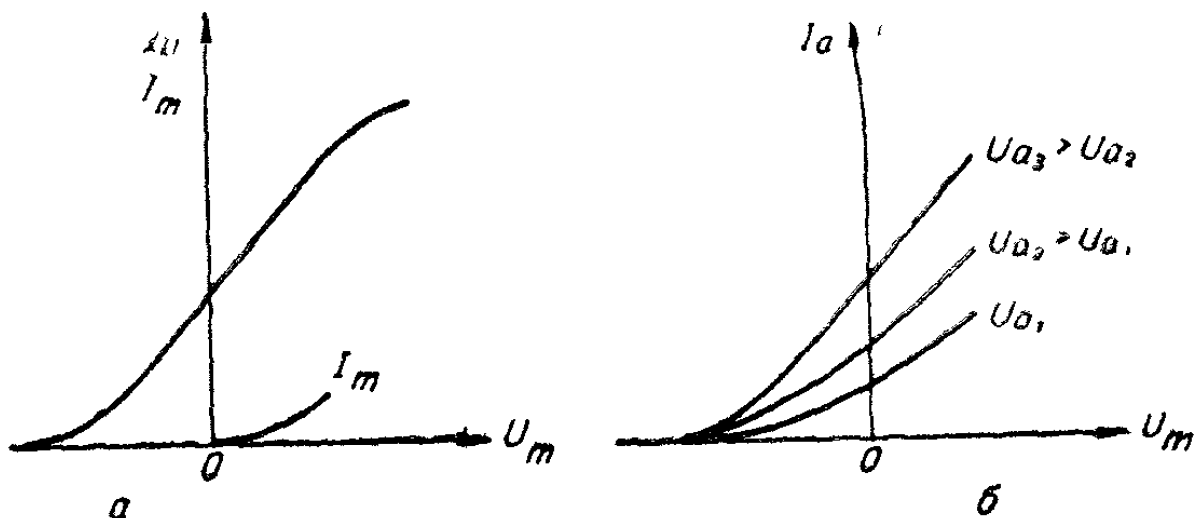


35-сурет. Характеристиканы алу үшін триодты қосу схемасы.

Характеристиканың төменгі имегі катод айналасындағы электрондық атмосфераның теріс өрісінің әсерінен электрондардың тежелуін көрсетеді, жоғарғы имек және торлық кернеу өскендегі токтың одан әрі артуы Шотки эффектісімен түсіндіріледі.

Анодтық кернеудің түрліше тағайындалған кернеулерінде алынған анод-торлық характеристикалар 36,б-суреттегідей характеристикалар тобын (үйірін) құрайды. Анодтық кернеу неғұрлым жоғары болса, оның катод шығаратын электрондарға тигізетін әсері де соғұрлым күштірек болады да, характеристиканың кескіні де соншалықты тік (жоғары) өрлейді.

**72. Торлық кернеу өзгермей, ал анодтық кернеу өзгерген кезде алынған характеристика анодтық характеристика деп аталады (36,б-сурет).** 36,б-суретте торлық кернеудің әр түрлі мәндерінде алынған анодтық характеристикалар тобы (үйірі) көрсетілген. Характеристикалар электрондық аппаратураларды есеп-қисаптағанда және конструкциялағанда қолданылады.



36-сурет. Триодтың:

а — анодтық-торлық және торлық характеристикалары; б — анодтық-торлық характеристикалар тобы

## § 14. Газдағы электр разряды

73. Иондық приборлардың баллондары сынап буымен немесе сиретілген инертті газдармен — неонмен, криптонмен, ксенонмен, аргонмен — толтырылады. Бұл газдар прибордың электродтарымен химиялық өз ара әрекеттеспейді.

74. Қалыпты жағдайда кез келген газ іс жүзінде бейтарап атомдар мен молекулалардан тұрады, сондықтан да олар диэлектрик. Егер иондайтын болсақ, онда олар өткізгішке айналады. Газдағы электр тогы газдық разряд деп аталады.

Егер газдың иондануы сыртқы ионизатордың қыздыру, термоэлектрондық эмиссия, радиоактивті сәулелену әрекеті есебінен пайда болса, онда разряд тәуелді деп аталады. Егер сыртқы ионизатордың әрекеті тоқтағаннан кейін электр разряды тек электр өрісінің әсерімен ғана жүретін болса, онда ол дербес болып табылады.

75. Иондық прибордың катоды мен аноды арасындағы кеңістіктегі электрондардың қозғалысы при-

бор ішіндегі газ атомдарымен және молекулаларымен жиі соқтығысу жағдайында өтеді. Ол соқтығысулар серпімді де, серпімсіз де болуы мүмкін. Серпімді соқтығысулар электрондар жылдамдығы онда шапшаң болмағанда байқалады. Бұл соқтығысулар нәтижесінде соқтығысатын бөлшектер жылдамдықтарының шамасы мен бағыты ғана өзгереді. Серпімсіз соқтығысулар электрондардың жылдамдығы аса зор болғанда орын алады. Электронның газ атомымен серпімсіз соқтығысуы кезінде атомның қозуы немесе иондануы мүмкін (электронның кинетикалық энергиясының шамасына қарай).

Көптеген атомдар қозған күйде өте аз уақыт қана ( $10^{-8}$  сек шамасында) болады да, одан кейін олар кванттар (фотондар) түрінде босаған энергияны шығара отырып, қалыпты күйге келеді. Бірақ кейбір атомдар қозған күйде ұзағырақ уақыт ( $10^{-3}$  —  $10^{-1}$  сек) болуы мүмкін; мұндай күй метастабильді деп аталады.

Қозған атомның иондануы сатылы деп аталады. Атап айтқанда, метастабильді атомдардың болуы сатылы ионданудың ықтималдығын арттырады.

Бұрынырақ айтып кеткеніміздей, теріс иондардың да түзілуі мүмкін.

Иондық приборда ионданған газ газ разрядты плазма деп аталады. Плазмадағы бөлшектер ретсіз жылулық қозғалыс жасайды. Плазмада электр өрісін туғызатын болсақ, онда оң бөлшектердің өріс бағытымен, ал теріс бөлшектердің өріске қарсы реттелген орын ауыстыруы басталады. Алайда жылулық қозғалыс реттелгенге қарағанда басым келеді.

Плазмада ионданумен қатар атомдардың нейтралданып, қайта қалпына келу процесі, яғни рекомбинациялануы жүреді. Бұл процесс иондану процесі кезінде жұтқан энергияны фотондар түрінде шығарумен қат-қабат жүреді. Сондықтан газ жарқырайды (не-

он — қызғылт-қызыл, аргон — күлгін, сынап буы — көк түсті).

76. Соқтығысу арқылы иондану үшін газ бөлшектерінің жеткілікті шамада кинетикалық энергиясы болуы керек. Зарядталған бөлшектердің электр өрісінде кинетикалық энергиясы мынадай болады:

$$\frac{mv^2}{2} = qU = qE\lambda, \quad (20)$$

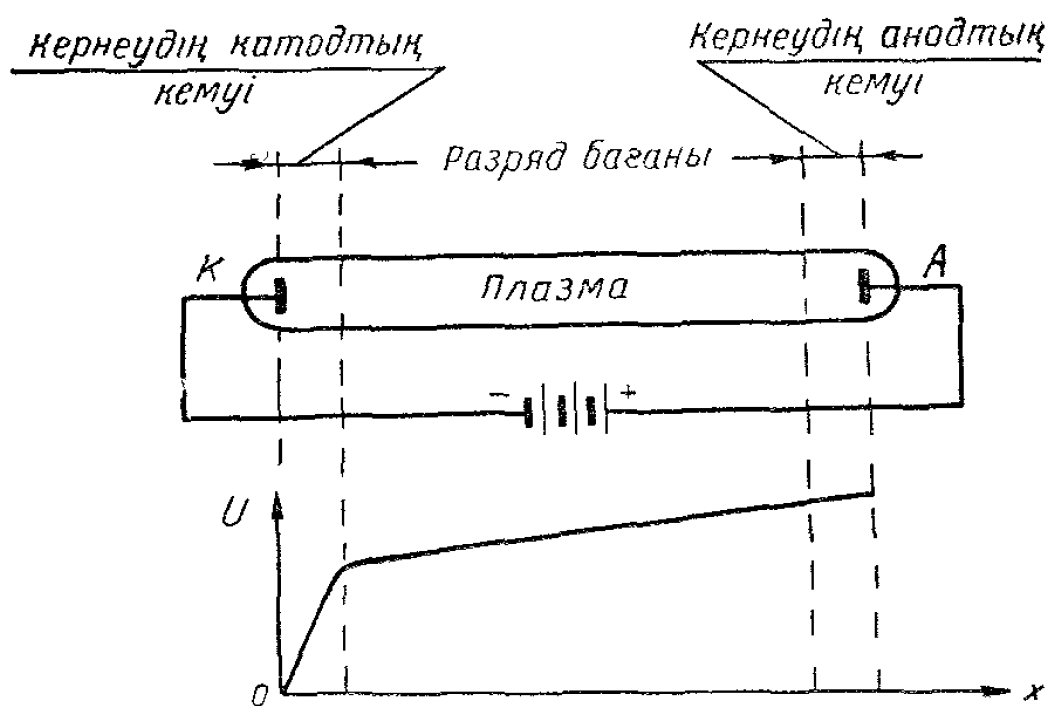
мұндағы  $\lambda$  — екі соқтығысу арасындағы бөлшектердің еркін жолының орташа ұзындығы. Міне, бұдан, өрістің векторлық кернеулігінің мәні неғұрлым көп болса және бөлшектердің еркін жолы неғұрлым ұзын, яғни газдың сиретілу дәрежесі неғұрлым күшті болса, онда олардың (бөлшектердің) кинетикалық энергиясы соғұрлым көп болатынын көреміз.

77. Газдың иондануының интенсивтігі артқан сайын оның электр өткізгіштігі күшті артады, сонда иондық прибордың кедергісі соншалықты азаяды, тіпті қоректендіретін ток көзінің қысқа тұйықталып қалуы да мүмкін. Сондықтан газ разрядты приборлар тізбекке арнаулы шектеуші (балластық) резистормен тізбектеле қосылады.

78. Физика курсында біз электр разрядтарының мынадай түрлерімен таныстық: күңгірт (баяу), солғын, доғалық, ұшқынды, тажды. Иондық приборларда негізінен солғын және доғалық разрядтар пайдаланылады.

## § 15. Солғын разряд

79. Солғын разряд — дербес разряд болып табылады. Оны ішінде едәуір сиретілген газы бар шыны түтіктерден байқауға болады. Түтіктің жоғары кернеу түсірілген екі электроды — аноды мен катоды болады (37-сурет).



37-сурет. Газ разрядты трубкадағы (түтіктегі) электр разряды және кернеудің бөліну графигі.

Разрядтың құрылымының егжей-тегжейін сөз етпей, оның мынадай негізгі екі бөлігін: катодқа тікелей жанасып тұрған — катодтың қараңғы кеңістігін және разрядтың оң бағаны делінетін жарқыраған газ бағаны бөліп алуға болады. Газдың белгілі бір қысымында оң баған жеке-жеке қатпарларға ыдырауы мүмкін, жарқылдың түсі газдың тегіне байланысты болады.

Тәжірибелер түтікке берілген кернеудің негізгі бөлігі катодтық кеңістік аймағына келетінін көрсетеді. Потенциалдың катодта кемуі солғын разрядтың ең маңызды белгісі болып табылады. Бұл катодтық кемудің маңызы мынада: потенциалдар айырымының көп болуы арқасында газдың оң иондары катод кеңістігінде зор жылдамдық, едәуір кинетикалық энергия алады. Сөйтіп, оң иондар катодты атқылайды да, одан электрондарды жұлып шығарады (**екінші реттік эмиссия**). Бұл электрондар анодқа қарай ұшады да,

оң бағанда газ атомдарымен соқтығысып, оларды иондайды. Сонымен, солғын разрядта электронды-ионды плазма соқтығысу арқылы иондану және оң иондардың катодтан электрондарды жұлып шығару процестерінің нәтижесінде пайда болады.

Эмиссияны арттыру үшін катодтарды активтендіреді.

Иондық приборларда электр тогы іс жүзінде электрондардың қозғалуы болып табылады, онда иондық ток өте мардымсыз. Әңгіме мынада, бір электронынан айрылған атомға, яғни ионға, электр өрісінде электронға қандай күш әсер етсе (шама жағынан), оған да сондай күш әсер етеді:

$$F = eE.$$

Электронның массасы ең жеңіл газ — сутегі ионының массасынан 1836 есе аз. Сондықтан электрон мен ионға бірдей әсер ететін күштің ионға беретін үдеуі мардымсыз, демек иондардың жылдамдығы электрондардың жылдамдығымен салыстырғанда өте баяу болады.

Кернеудің катодтық кемуінің жұқа аймағында не себептен мұндай шапшаңдатушы күшті электр өрісі пайда болатынын түсіну үшін кернеу ( $U$ ), участоктың ұзындығы ( $l$ ) және өрістің кернеулігі ( $E$ ) арасындағы қатысты еске түсірейік:

$$E = \frac{U}{l}.$$

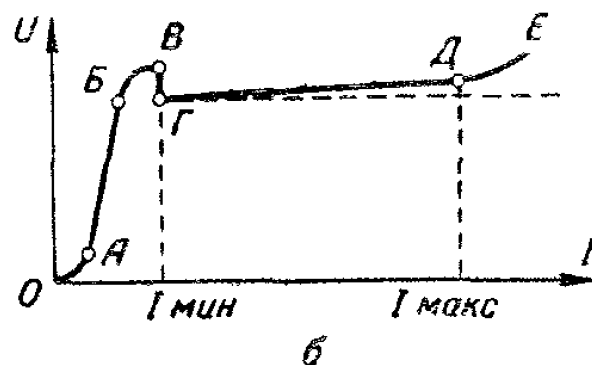
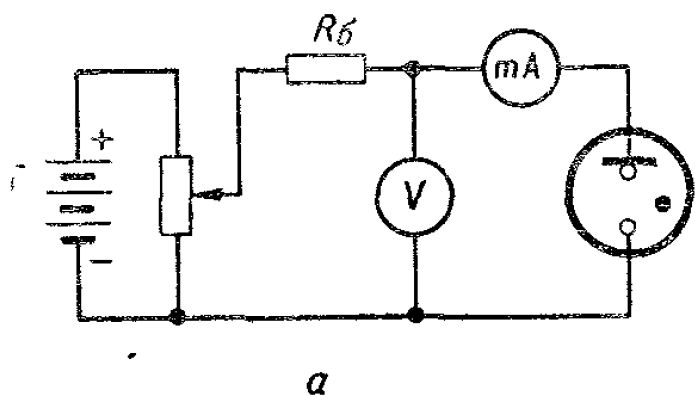
Катодтық участоктың ұзындығы  $l$  аса қысқа болғанда, өрістің кернеулігі күшейеді.

Солғын разряд суық катодты стабилитрондар, күндізгі жарық лампылары, солғын разрядтың тиратрондары, иондық есептеу приборлары сияқты, иондық приборларда қолданылады.

## § 16. Солғын разрядтың вольт-амперлік характеристикасы

80. Солғын разрядтың иондық газ разрядты приборларында болатын процестерді айқын ұғыну үшін осындай прибордың вольт-амперлік характеристикасын қарастырайық (38,б-суретте). Тәжірибені жасауға қажетті қондырғының электрлік схемасы 38,а-суретте көрсетілген.

Реалды жағдайларда приборда бастапқы иондану болып тұрады. Ол космостық сәулелену бар жерде, соның ішінде иондық прибордың электродтары мен баллон қабырғаларында, жоққа тән болса да, болатын радиоактивті заттардың әсерінен пайда болады. Сондықтан кернеуді нольдік мәнінен бастап ұлғайтқан кезден-ақ приборда микроампер шамасында мардымсыз ток бар екені байқалады (38,б-суретте  $AO$  участогындағы қисық). Газда бар барлық бірінші реттік электрондар ток туғызуға қатынасқан болса, онда кернеу одан әрі өскенмен, ток іс жүзінде өзгермейді ( $AB$  участогы). Кернеуді одан әрі арттырғанда соқтығысу арқылы иондану байқарлықтай дәрежеге жетеді, оң иондардың катодтан жұлып шығарған еркін электрондары пайда болады, ток артады ( $BE$  участогында). Иондық прибордың кернеуі ж а-



38-сурет. Газдағы солғын разряд:

а — зерттеуді орындау схемасы; б — вольт-амперлік характеристика.



ғу кернеуіне тең мәніне ( $B$  нүктесінде) жеткен кезде иондану процесі және екінші реттік электронды-иондық эмиссия процесі тым интенсивті түрде жүре бастайды: электрондар газ атомдарымен соқтығысып, олардан екінші реттік электрондарды жұлып шығарады, ал олар өріспен үдеу алады да, өздері екінші реттік атомдарды иондайды; оң иондар өрістің әсерімен айтарлықтай кинетикалық энергия алады, сөйтіп катодтан электрондарды интенсивті түрде жұлып шығарады.

Содан соң кернеуді қайыра бөлу басталады: шектеуші резисторда  $R_6$  кернеу кенет артады:  $U_6 = IR_6$ , ал приборда кемиді ( $\Gamma$  нүктесі):

$$U = U_0 - IR_6. \quad (20^1)$$

Кернеу одан әрі ұлғайғанда, ток та өседі және балласт резистордағы кернеудің кемуі де өседі, ал прибордағы кернеу онша өспейді ( $\Gamma D$  участогы). Бұл режим қалыпты катодтық кему режимі деп аталады. Оны кернеуді тұрақтандыру (стабильдеу) үшін қолданады.

Графикте (38,б-сурет)  $\Gamma D$  участогы мың рет кішірейтілген масштабпен көрсетілген: бұл участокта ток шамасы миллиампермен, ал  $OB$  участогында — микроампермен берілген.

Жоғарыда көргеніміздей, дербес солғын разрядтан бұрын тәуелді разряд болады екен ( $OB$  участогы), оны күнгірт немесе баяу деп атайды.

$\Gamma D$  участогында токтың біраз өсуі мынадай себеппен болады. Солғын разряд пайда болғанда, тек катод бетінің біразы ғана электрондарды эмиттирлейді. Кернеу артқанда катодтың активті ауданы ұлғаяды. Ток максимал болғанда, катодтың бүкіл беті электрондар шығарады. Кернеу одан әрі көбейгенде катодтағы токтың тығыздығы арта бастайды, прибордағы кернеу артады (аномальды катодтық кему режимі —  $DE$  участогы). Оң иондардың кинетикалық энергиясы

өседі, сөйтіп олар катодты интенсивті түрде атқылайды да, оны қыздырады, ақыры катодтан термоэлектрондық эмиссия пайда болады. Бұл кезде токтың шамасы ( $E$  нүктесінен кейін) секіріп өсіп, бірнеше амперге жетуі мүмкін, сонда электр доғасы (доғалық разряд) пайда болады. Солғын разряд приборлары үшін доғалық разряд аса қауіпті.

Аномальды солғын разряд газы жарық беретін рекламалық лампыларда пайдаланылады.

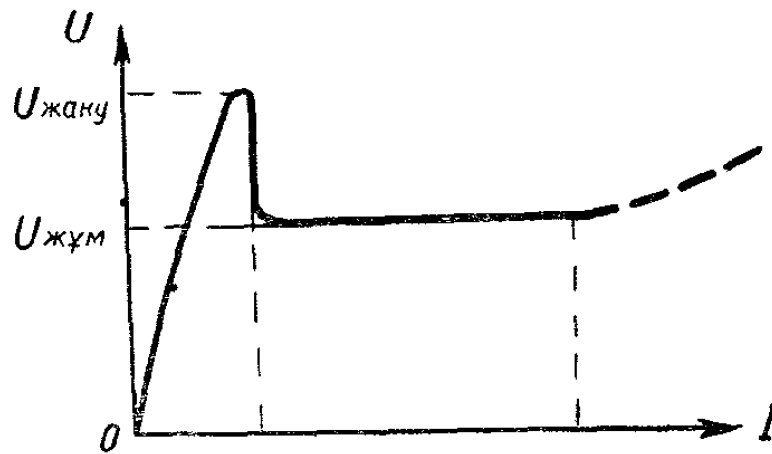
## § 17. Иондық приборлардағы доғалық разряд

81. Иондық приборларда доғалық разряд, 1905 жылы орыс академигі *В. Ф. Миткевич* тағайындағандай, қыздырылған катодтың термоэлектрондық эмиссиясы немесе сынап бетінің электростатикалық эмиссиясы есебінен алынады. Доғалық разряд кезінде приборда кернеудің кемуі аз да, ал ток көп — ол бірілеген, ондаған және жүздеген амперге жетеді (прибордың типіне қарай). Разряд кезінде, көз қаратпайтын, күшті жарық шығады.

Бұл айтылғаннан, доғалық разряд тәуелді разряд типіне жататындығы көрініп тұр. Доғалық разряд приборларына қыл сымды газотрондар мен тиратрондар, сынап колбалар, игнитрондар жатады. Катодтары — оксидті, тура және жанама қызатындары.

82. 39-суретте доғалық разрядтың вольт-амперлік характеристикасы кескінделген.

Приборда разряд пайда болғанша қызған катодта, вакуумдағы сияқты, таза электрондық ток байқалады. Аса күшті электр өрісі кезінде прибордың аноды мен катоды арасында интенсивті иондану басталады да, доғалық разряд пайда болады, жану құбылысы байқалады. Доғалық разряд приборы катодының жұмыстық ауданы өзгермейтіндіктен де, кер-



39-сурет. Доғалық разрядтың вольт-амперлік характеристикасы.

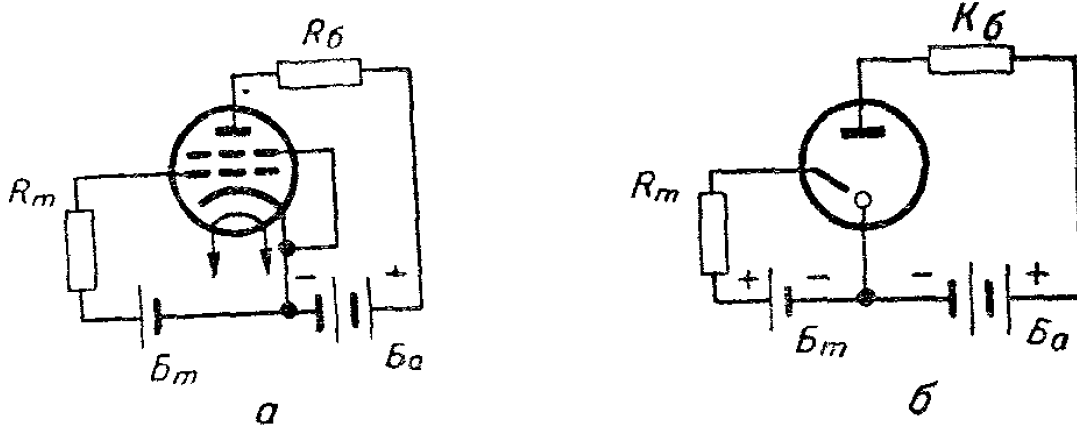
неудің өсуіне қарай, солғын разряд приборларына қарағанда токтың шамасы әжептәуір көп өзгереді.

83. Доғалық разряд приборларындағы катодтың жұмыс жағдайы вакуумдық приборлардағыға қарағанда әлдеқайда ауыр. Приборлардың әрбір типі үшін анодтық кернеуді белгілі бір мәнінен арттырып жіберетін болсақ, онда ол катодты ауыр иондармен интенсивті атқылауға әкеп соғады, ал бұл оның оксидті қабатын бұзады. Сондай-ақ жеткілікті қыздырмай қою да қауіпті. Өйткені, жеткілікті қыздырылмаса, прибордың кедергісі артып, ондағы кернеу көбірек кеміп, соның салдарынан катодты иондар күшті атқылайтын болады.

Анодтық кернеуді жоғарылатып жібергенде кері жағу болуы мүмкін, яғни иондардың анодпен соқтығысуы анодтан электрондардың екінші реттік эмиссиясын тудырады да, ток катодтан анодқа қарай жүреді.

## § 18. Жағу потенциалын басқару .

84. Бір немесе екі торлы иондық прибор тиратрон деп аталады (40-сурет). Егер тордың катодқа қатысты оң потенциалы болса, онда оның өрісі электронға



40-сурет.

*a* — қыздырылатын катодты тиратрон; *б* — суық катодты тиратрон.

шапшандатқыш әсер етеді де, тор жоқтағыға қарағанда, жағу аз кернеудің өзінде-ақ орындалады. Тордың теріс потенциалы жағу кернеуін жоғарылатады.

Сөйтіп, тордың көмегімен приборды жағу потенциалын өзгертуге болады. Алайда, тордың потенциалын өзгертіп жаққаннан кейін, вакуумдық триодтағыдай емес, мұнда прибордың анодтық тогын басқаруға болмайды. Өйткені мұнда тордың әсері плазманың көлемдік өрісімен нейтралданады: себебі торда оң потенциал болғанда, оның өрісі тор маңайына шоғырланған электрондар өрісімен нейтралданады, ал теріс потенциалда торды газдың оң иондары қоршайды.

Демек, тор тек тиратронды «ашып», жағу кезін басқара алады. «Тиратрон» деген атау гректің «тира» — «есік» деген сөзінен шыққан.

Разрядты тек анодтық токты төмендету немесе анодтық тізбекті ұзу арқылы ғана өшіруге болады. Разрядты өшіру кезіндегі кернеуді **сөндіру кернеуі** деп атайды. Сөндіру потенциалы жағу потенциалынан біраз төмен.

## § 19. Заттың плазмалық күйі

85. Біз иондық приборларда (олардың жұмыс процесінде) газдың ерекше бір күйде — **плазмалық күйде** — болатынын көрдік.

Плазма деп заттың төртінші күйін айтады. Ол иондар мен электрондардан тұрады, онда иондану мен рекомбинациялану процестерінің қатар жүріп жатқаны, ал жалпы зарядтың нольге тең болатыны байқалады. Плазмада зарядталған бөлшектердің әжептәуір концентрациялануы оның электр өткізгіштігінің жоғары екендігін көрсетеді. Мысалы, қысым 1 тор-ға тең болғанда, сутегі плазмасының әрбір куб сантиметрінде  $10^{11}$  электрондар болады. Газды қыздырып, оны плазмалық күйге келтіруге болады. Әсіресе мұны сілтілік металдар — натрий, калий, цезий — бұнан оңай байқауға болады. Температура жоғарылаған сайын, плазмалардың иондану дәрежесі артады. Мысалы,  $160\,000^\circ\text{K}$  температурада сутегі плазма толық ионданады, онда бейтарап атом және молекула болмайды. Миллиондаған градус температурада келген зат плазмалық күйде болады.

Заттардың плазмалық күйде болуы әлемде кездесіп таралған. Күн, жұлдыздар плазмадан тұрады, өйткені бұл аспан денелерінің қойнауында температура бірнеше миллион градусқа және одан да көпке жетеді. Сиреген тұмандылықтар және жұлдыз аралық газдар жұлдыздардың ультракүлгін сәулелерімен ионданған. Басқарылатын термоядролық процестерде де плазма шешуші орын алады.

Атмосфераның жоғарғы қабаттарында космостың сәулелер, Күн сәулелері әсерінен ионданған қабат — ионосфера пайда болады. Бұл қабат радиотолқындардың таралуына ықпал жасайды. Түнде космостық сәулелердің әсері азайған кезде, иондар мен электрондардың рекомбинациялануы нәтижесінде

иондану азаяды. Солтүстік жарқыл және найзағай бұл да заттың плазмалық күйімен байланысты.

Газ разрядты приборлардағы плазманы **суық плазма** деп атайды. Әрине, бұл миллион градустан жоғары температурадағы плазмаларды — ыстық плазма деген сияқты шартты атау.

Плазмада зарядталған бөлшектердің аса жоғары концентрациясы оларда, жеке зарядталған бөлшектердің қозғалысына айтарлықтай ықпал жасайтын, көлемдік зарядтардың пайда болуына әкеп соғады. Нашар ионданған газды плазма деуге болмайды, өйткені мұндай газда иондар мен электрондардың саны өте мардымсыз, олар туғызатын электр өрісі жеке зарядталған бөлшектердің қозғалысына шын мәнінде ешбір ықпал жасамайды.

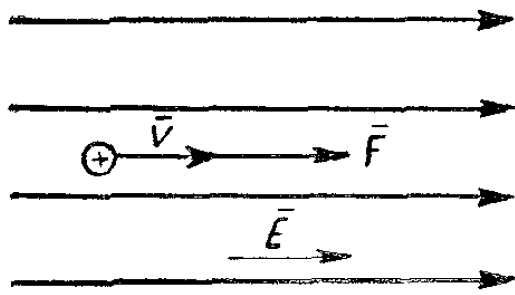
## **§ 20. Зарядталған бөлшектердің электр және магнит өрістеріндегі қозғалысы**

86. Біз металдардағы, шала өткізгіштердегі, вакуум мен газдағы электр тогын туғызатын негізгі процесс электр қозғалыстағы электр зарядтары мен электр өрісінің өз ара әсері екенін көрдік.

Енді зарядталған бөлшектердің (электронның, ионның) біртекті және өзгермейтін электр өрісіндегі қозғалысын қарастырайық.

Егер өріс біртекті болмаса және зарядталған бөлшектердің өз ара әсерін еске алсақ, онда мәселе тіпті қиындайды. Реалды приборларда өріс әрқашан да біртекті болмайды. Бірақ сол өрістің аса бір азғантай көлемін бөліп алсақ, оны біртекті деуге болады. Сонымен бірге, көп жағдайда қозғалыстағы зарядталған бөлшектер бір-бірінен соншалықты қашық келеді, сондықтан тіпті олардың зарядтарының өз ара әсерін ескермеуге де болады.

Егер зарядталған бөлшектер өрістің бағытымен орын ауыстырса (бөлшектердің жылдамдық векторы



электр өрісінің кернеулігінің векторымен сәйкес келеді), онда оған кернеулік векторының бойымен бағытталған

$$F = qE$$

күш әсер етеді (41-сурет).

41-сурет. Электр өрісінің бойымен зарядталған бөлшектердің қозғалысы.

Кинетикалық энергияның өзгеруі туралы теорема бойынша бұл күштің  $l$  жолдағы жұмысы.

$$A = Fl = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = qEl = qU$$

болады. Мұндағы  $U$  — өрістің екі нүктесі арасындағы  $l$  жол участогын шектейтін потенциалдар айырымы.

Екіншіден, Ньютонның екінші заңы бойынша  $F$  күш бөлшекке

$$a = \frac{F}{m}$$

үдеу береді.

Демек, зарядталған бөлшектің электр өрісіндегі қозғалысы үдемелі және бөлшектің кинетикалық энергиясы барған сайын артады.

Егер бастапқы жылдамдық нольге тең болса, онда кинетикалық энергия формуласы былай болады:

$$\frac{mv^2}{2} = qU$$

Бұл өрнек үдетуші потенциалдар айырымын ( $U$ ) жүріп өткен бөлшектің ақырғы жылдамдығын анықтауға мүмкіндік береді. Ол:

$$v = \sqrt{2 \frac{q}{m} U}. \quad (21)$$

Электрон үшін

$$q = e,$$

сондықтан

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U}. \quad (22)$$

Бұған электронның заряды мен массасының сандық мәндерін қойсақ:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ К},$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}.$$

Сонда ақырғы жылдамдық

$$v \cong 600 \sqrt{U} \text{ (км/сек)}. \quad (23)$$

Бұл формула бойынша егер потенциалдар айырымы 1 в болса, онда үдетуші өрістегі электронның ақырғы жылдамдығы 600 км/сек, ал потенциалдар айырымы 100 в болса, онда үдетуші өрістегі электронның ақырғы жылдамдығы 6000 км/сек болады.

(22) формула бір, тек бір ғана үдетуші өрістің өзінде иондардың жылдамдығы электрондардың жылдамдығынан не себепті аз болатынын түсіндіреді, яғни ол формуладан массасы ауыр ионның жылдамдығы электронның жылдамдығынан аз болатынын көреміз. Мысалы, қарапайым элемент — сутегі ионын алайық. Онда

$$q = e,$$

$$m_0 = 1836 m_e$$

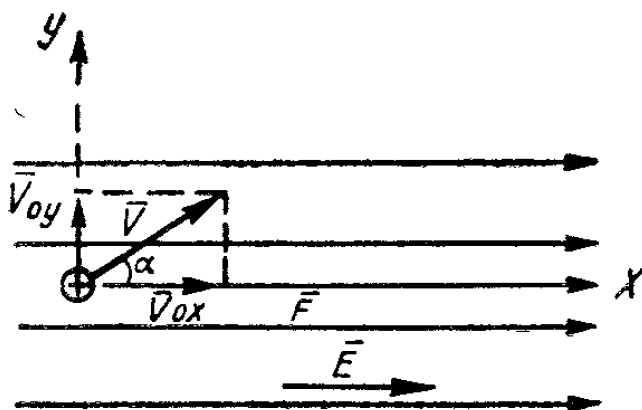
олай болса,

$$v \cong 11,7 \sqrt{U} \text{ (км/сек)}.$$

Ал енді ионның потенциалдар айырымы 1 в және 100 в болғанда, соған сәйкес сол ионның жылдамдығы не бары 11,7 км/сек және 117 км/сек қана болады.

Электр өрісінің кернеулігі векторының бағытымен оң зарядқа әсер ететін күштің бағыты сәйкес келеді дедік. Ал электрондар теріс зарядты болғандықтан, электр өрісіндегі оған әсер ететін күш өріске қарсы





42-сурет Зарядталған бөлшек электр өрісіне өріс кернеулігінің сызықтарымен бұрыш жасай ұшып кіреді.

бағытталады, демек, осы параграфтағы бірінші формуланың оң жақ бөлігіне «минус» таңбасын қою керек.

Енді бөлшектің жылдамдық векторы кернеулік векторына бұрыш жасай бағытталсын делік (42-сурет). Мұнда жылдамдық векторын суретте көрсетілгендей етіп екі құраушыға жіктейміз.

Сонда жылдамдықтың бір құраушысы

$$\overline{v}_{ox} = \overline{v}_0 \cdot \cos \alpha$$

өрістің бойымен бағытталады. Бұл бағытта  $F$  күштің әсерінен бөлшек үдей қозғалады.

Ал енді

$$\overline{v}_{oy} = \overline{v}_0 \cdot \sin \alpha$$

құраушы жылдамдығының бойымен бөлшекке күш әсер етпейді, бұл бағытта бөлшек бір қалыпты және түзу сызықты қозғалады. Механикадан белгілі, бұл қарастырылып отырған жағдайда бөлшек парабола бойымен қозғалады.

87. Егер тогы бар өткізгішті біртекті магнит өрісіне орналастырсақ, онда оған

$$F = BIl \sin \alpha \quad (24)$$

күш әсер етеді. Мұндағы  $B$  — өрістің магнит индукциясы,  $l$  — өткізгіштің ұзындығы,  $I$  — өткізгіштегі ток күші,  $\alpha$  — токтың бағыты мен магнит индукциясы векторының арасындағы бұрыш.

Заряды  $q$  бөлшек өріске  $v$  жылдамдықпен ұшып кірді және соншалықты аз  $t$  уақыт ішінде  $l$  жол жүрді дейік. Зарядтың қозғалысы ұзындығы  $l$  өткізгіштегі  $I = \frac{q}{t}$  ток сияқты. Сондықтан

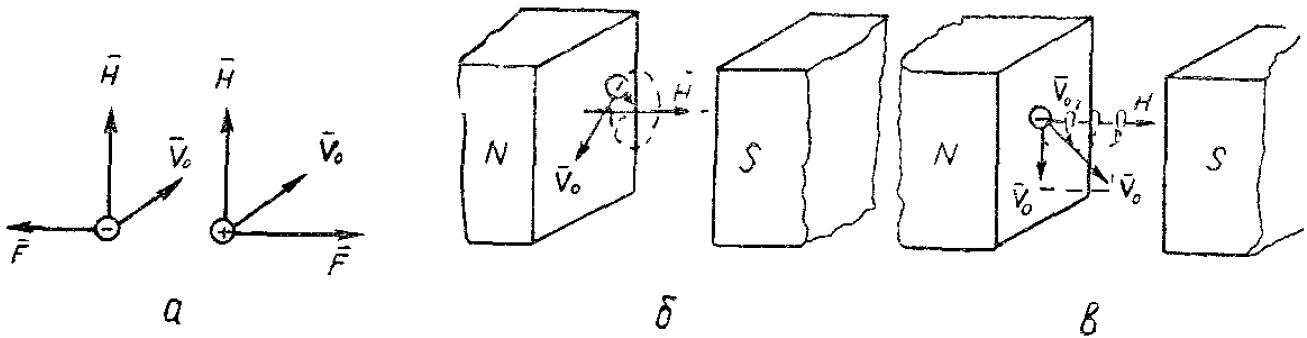
$$F = Bl \frac{q}{t} \sin \alpha = qB \frac{l}{t} \sin \alpha = qBv \sin \alpha.$$

Магнит өрісінің зарядталған бөлшекке әсер ететін бұл күшін **Лорентц күші** деп атайды. Ол:

$$F_{\text{л}} = qBv \sin \alpha. \quad (25)$$

Ең алдымен бөлшектің жылдамдық векторы индукция векторына перпендикуляр жағдайды ( $\sin \alpha = 1$ ) қарастырайық. Лорентц күшінің бағытын анықтау үшін сол қол ережесін пайдаланамыз: ол үшін сол қолдың төрт саусағын жаза ұстап, оларды оң зарядталған бөлшектің жылдамдық векторының бағытымен бағыттап, ал магнит индукциясы векторы алақанға енетіндей етіп орналастырсақ, сонда керіп ұстаған бас бармақ бөлшекке әсер ететін күштің бағытын көрсетеді. Егер зарядталған бөлшек электрон болса, онда қолдың төрт саусағын бөлшек жылдамдығының векторына қарсы бағыттау керек, өйткені токтың бағыты электрондардың орын ауыстыру бағытына қарсы болады.

Бұл айтылғандар күштің өріс индукциясының векторына да, сондай-ақ жылдамдық векторына да перпендикуляр екендігін көрсетеді (43,а-сурет). Ал егер күш жылдамдық векторына перпендикуляр болса, онда жұмыс нольге тең де, кинетикалық энергия өзгермейді, демек, жылдамдық нольге тең. Сонымен бірге, егер денеге жылдамдық векторына перпендикуляр бір, тек бір ғана күш әсер етсе, онда ол центрге тартқыш күш болатыны бізге механикадан белгілі. Ол мынаған тең:



43-сурет. Зарядталған бөлшектің магнит өрісіндегі қозғалысы: *а* — өріс кернеулігінің векторы, бөлшектің жылдамдық векторы және бөлшекке әсер етуші күш өз ара перпендикуляр; *б* — электронның шеңбер бойымен қозғалысы, *в* — электронның спираль бойымен қозғалысы.

$$F_{ц} = \frac{mv^2}{R}.$$

Егер бұған (25) формуланың ( $\sin \alpha = 1$ ) болған жағдайын пайдалансақ, онда мынау шығады:

$$\frac{mv^2}{R} = qBv \text{ немесе } R = \frac{mv}{qB}. \quad (26)$$

Бұл формулада барлық шамалар тұрақты, демек, радиус  $R$ -дің шамасы да тұрақты. Басқаша айтқанда, магнит өрісі бөлшектің кинетикалық энергиясын өзгертпейді; егер бөлшек өріске индукция векторына перпендикуляр бағытта ұшып кірсе, онда бұл бөлшек одан әрі радиусы  $R$  шеңбер бойымен (26) өріске перпендикуляр жазықтықта қозғалады (43,б-сурет).

Егер бөлшектің жылдамдық векторының бағыты өрістің бағытымен сәйкес келсе (немесе қарама-қарсы болса), онда (24) формуладан көргеніміздей, оған күш әсер етпейді, ол инерция бойынша қозғалады. Егер  $\alpha$  бұрышы нольге тең болмаса, онда жылдамдық векторын екі құраушыға жіктеу керек (43,в-сурет). Демек, бұдан бөлшектің спираль траектория, яғни бұрандалы траектория бойынша қозғалатынын аңғару қиын емес. Бөлшек магнит өрісінен шығысымен-ақ, одан әрі инерция бойынша түзу бағытпен қозғалады.

Электрондық приборларда магнит өрісінің әсері қолданылады, мысалы, электрондар шоғында (осциллографтың электронды-сәулелік түтігінде, электронды-сәулелік индикаторда, магнетронда) кеңінен қолданылады.

88. Егер қозғалыстағы электр зарядына электр және магнит өрістері бір кезде әсер етсе, онда Лорентц күші зарядқа әсер ететін электр және магнит өрістері күштерінің геометриялық қосындысына тең болады, яғни:

$$\vec{F}_L = \vec{F}_E + \vec{F}_M \quad (27)$$

Бұл күштерді параллелограмм ережесі бойынша қосу керек.

Егер электр өрісі мен магнит өрісі өз ара перпендикуляр болса, онда оларды  $F_E$  және  $F_M$  күштері қарама-қарсы бағытталайтындай етіп бағдарлауға болады. Сөйтіп, өрістердің кернеулігін өзгерте отырып;

$$F_E = F_M$$

болатындай жағдайға келтіруге болады. Сонда

$$qE = qBv \text{ немесе } v = \frac{E}{B}. \quad (28)$$

Мұны зарядталған бөлшектердің жылдамдығын өлшеу үшін пайдаланады.

## БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ. ЕСЕПТЕР.

### 1—4-ПАРАГРАФТАРҒА

1. Заттағы электронның қозғалысы классикалық электрондық теория тұрғысынан қандай заңға бағынады?

2. Электрондық теория өткізгіштің электрлік кедергісін қалай түсіндіреді?

3. Металдағы ортақтастырылған электрондарды идеал газ молекуласына ұқсату қандай қайшылыққа келтіреді?

4. (11) формуланы пайдаланып, металдың меншікті кедергі-

сінің температураның жоғарылауына байланысты артуын қалай түсіндіруге болады?

5. Металдағы өткізгіштік электрондар концентрациясы сыртқы жағдайға байланысты бола ма?

6. Ом заңының қолданылу шекарасы туралы не айтуға болады?

7. Классикалық электрондық теория қайшылықтарының түп тамыры неде?

8. Шала өткізгіштердің меншікті электр өткізгіштігінің мәнін түсіндіріңіздер.

9. Кемтіктерді оң зарядты деуге қандай негіз бар?

10. Температура жоғарылағанда шала өткізгіште өткізгіштік электрондар мен кемтіктердің қозғалғыштығы артады. Соның өзінде олар жиі рекомбинацияланады. Олай болса, жоғары температурада шала өткізгіштің электр өткізгіштігі металдың электр өткізгіштігіне не себепті жақындайды?

11. Ток  $1 \text{ а}$  болғанда металл өткізгіштің көлденең қимасынан секунд сайын неше электрон өтеді?

12. Металдағы электр өрісінің кернеулігі  $1 \frac{\text{в}}{\text{м}}$ .

Ортақтастырылған (коллективтендірілген) электронның кристалл решеткасын қаңқасымен екі соқтығысуы арасындағы уақыт  $2 \cdot 10^{-12} \text{ сек}$  болса, онда оның реттелген орын ауыстыруының орташа жылдамдығы қандай?

13. Металдағы электронның бөлме температурасындағы ( $T=290^\circ \text{ К}$ ) жылулық қозғалысының орташа жылдамдығын анықтаңыздар және оны алдыңғы есептің нәтижесімен салыстырыңыздар.

Н ұ с қ а у:  $\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT$  формуласын пайдаланыңыздар

(Больцман тұрақтысы  $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ дж/град}$ ).

14. Ұзындығы  $10 \text{ м}$  мыс сымның ұштарына  $0,4 \text{ в}$  кернеу түсірілді. Өткізгіштегі токтың тығыздығын есептеңіздер.

15. Күміс өткізгіштің қимасы  $0,5 \text{ см}^2$ . Электрондардың реттелген орын ауыстыруының орташа жылдамдығы  $10^{-5} \text{ м/сек}$ , ал күмістегі электрондардың концентрациясы  $6 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ . Осы өткізгіштегі ток күшін анықтаңыздар.

16. Көптеген шала өткізгіштер үшін тыйым салынған зонаның ені  $0,1$ -ден  $2 \text{ эв}$ -ке дейінгі шекаралықта болады. Жылулық қозғалысқа қатысатын атомның бөлме температурасындағы орташа кинетикалық энергиясы  $0,04 \text{ эв}$ -тен аспайды. Шала өткізгіштерде абсолют нольден жоғары температураларда, соның ішінде бөлме температурасында, өткізгіштік электрондардың болатындығын қалай түсіндіруге болады?

## 5—7-параграфтарға

1. Донорлық қоспалар деп қандай қоспаларды айтады?
2. Акцепторлы қоспа деп қандай қоспаны айтады?
3. Зоналық теория шала өткізгіштердің қоспалы электр өткізгіштігін қалай түсіндіреді?
4. Шала өткізгішті диодта жаппалы қабаттың электр кедергісі, шала өткізгіш кристалының электрондық және кемтіктік аймағының кедергісінен неліктен көп?
5. Электронды-кемтікті ауысуды  $n$  және  $p$  типтес шала өткізгіштерді механикалық тиістіріп қана алуға бола ма?
6. Тура ток дегеніміз не? Кері ток деген не?
7. Шала өткізгішті диодтың вольт-амперлік характеристикаларының түзу сызық болмайтындығын түсіндіріңіздер.
8. Транзистордың жұмыс принципін баяндап беріңіздер.
9. Шала өткізгіште электр зарядын тасушылардың қайсысы — негізгі, қайсысы — қосалқы деп аталады.
10. Шала өткізгішті материалдар металмен контактілескенде токты шала өткізгіштен металға қарай өткізгеннен гөрі, металдан шала өткізгішке қарай жақсы өткізетіні белгілі. Осыны қалай түсіндіруге болады?
11. Егер ток көзінің оң қысқышын — шала өткізгіштің электрондық аймағына, ал терісін — кемтіктік аймағына қоссақ, онда жаппалы қабат не күйге түседі?
12. Кернеулігі  $100 \text{ в/м}$  электр өрісінде тұрған, температурасы  $273^\circ \text{ К}$  шала өткізгіштегі электрондардың концентрациясын анықтаныңдар. Шала өткізгіштің бұл температурадағы меншікті кедергісі  $300 \text{ см/м}$ , ал электрондардың реттелген орын ауыстыруы —  $0,6 \text{ м/сек}$ .
13. Мына деректер бойынша, миллиметрлік қағазға лекалоның көмегімен Д9Г диодының вольт-амперлік характеристикасын салыңыздар:

$U$ (в)	$I$ (ма)	$U$ (в)	$I$ (ма)	$U$ (в)	$I$ (мкА)	$U$ (в)	$I$ (мкА)	$U$ (в)	$I$ (мкА)
0,8	60	0,4	7,0	0	0	-1	-10	-10	-45
0,6	16	0,2	2,5	-0,5	-5	-2	-18	-20	-80

Алынған характеристика бойынша:

- а) Тек бір ғана тура және кері кернеудегі (мысалы,  $0,5 \text{ в}$ ) тура және кері токты анықтап, оларды өз ара салыстырыңыздар.

ә) Тек бір ғана тура және кері кернеудегі электронды-кемтікті ауысудың кедергісін есептеңіздер. Алынған мәліметтерді өз ара салыстырыңыздар.

б) Тура ток 10-нан 30 ма-ге дейін өзгерген кездегі тура кернеудің өзгеруін анықтаңыздар. Кернеудің өзгеруін токтың өзгеруіне бөліп, диодтың тура бағыттағы дифференциал кедергісі деп аталатын шаманы табыңыздар.

в) Алдыңғы жаттығуды кері ток 20-дан 80 мка-ге дейін өзгеруі үшін қайталаңыздар. Кері бағыт үшін дифференциал кедергіні табыңыздар.

14. Коллектор-база кернеуі  $U_{кб} = -6$  в, ал эмиттер-база кернеуі  $U_{эб} = 0,4$  в. Коллектор-эмиттер кернеуін табыңыздар.

### 8—9-параграфтарға

1. Электрондық эмиссия деп нені айтамыз?
2. Сіздерге эмиссияның қандай түрлері белгілі?
3. Электростатикалық эмиссия қалай жүретінін айтып беріңіздер.

4. Ферми деңгейі дегеніміз не?

5. Толық шығу жұмысы дегеніміз не? Эффективті шығу жұмысы дегеніміз не?

6. Металл бетіндегі қос зарядталған қабаттың электрондық эмиссияға қандай ықпалы бар?

7. Вольфрамнан электрондардың толық шығу жұмысының 13,7 эв-ке тең екені эксперимент жүзінде тағайындалған. Вольфрамдағы ортақтастырылған электрондардың  $0^\circ\text{K}$  температурадағы максимал энергиясын анықтаңыздар (Ферми деңгейі).

8. Мырыш үшін Ферми деңгейі 11,76 эв-ке тең. Толық шығу жұмысын анықтаңыздар.

9. Цезиймен қапталған вольфрам пластинкаға толқын ұзындығы  $3000 \text{ \AA}$  ультракүлгін сәулелер түсірілген. Бұл жағдайда электрондардың эмиссиясы байқала ма?

10. Танталдан ұшып шыққан фотоэлектрондардың максимал жылдамдығы  $10^5$  м/сек. Түскен жарықтың толқын ұзындығы қандай?

### 10—13-параграфтарға

1. Термоэлектрондық эмиссия дегеніміз не?

2. Катодтың кеңістіктік зарядтары термоэлектрондық эмиссияға қандай ықпал жасайды?

3. Эмиссия тогының катод температурасына тәуелділігі қандай?

4. Меншікті электрондық эмиссия деп нені айтамыз? Катодтың эффективтілігі дегеніміз не?

5. Қандай катодтар қарапайым, ал қандайы күрделі деп аталады?

6. Катодтарды не үшін активтендіреді? Жауап беру үшін таблицадан қажетті мәліметтер келтіріңіздер.

7. Шала өткізгішті катодтардың артықшылығы мен кемшіліктері қандай?

8. Шотки эффектісі дегеніміз не?

9. Диодтың вольт-амперлік характеристикасын сипаттап беріңіздер.

10. Диодтың бір жақты өткізгіштігін түсіндіріңіздер.

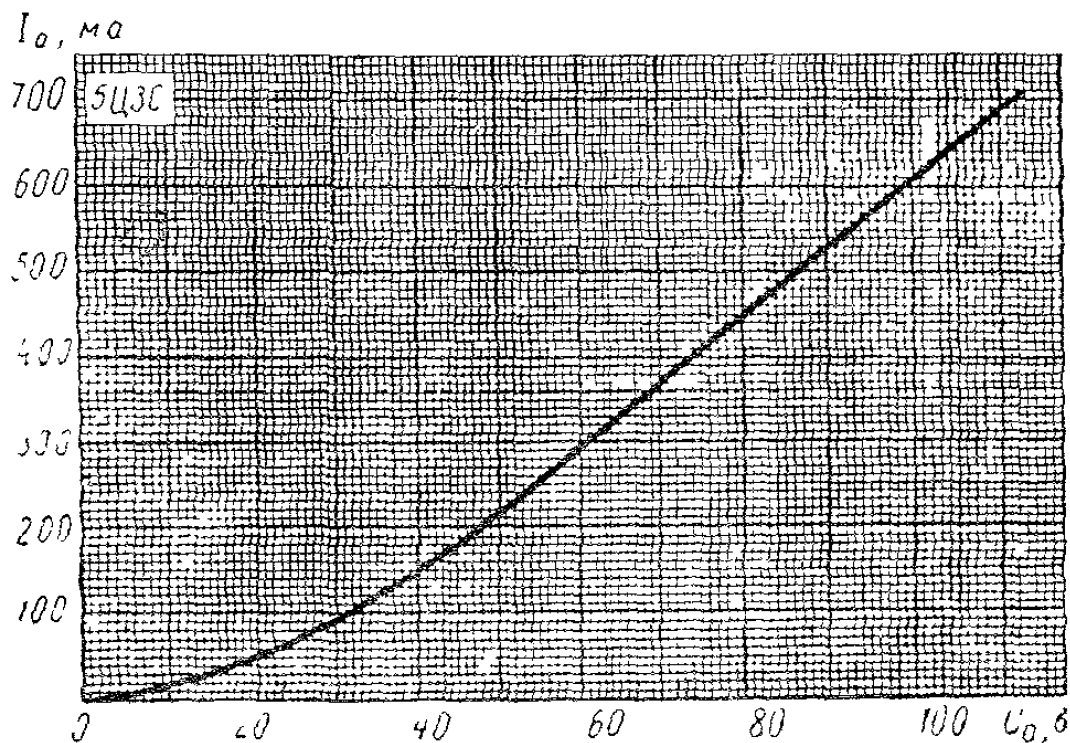
11. Триодтағы тордың ролі қандай?

12. 6Д6А диодының анодтық тізбегінде анодтық кернеудің жоқтығы 15 мкА токта байқалған. Анодқа секунд сайын түсетін электрондардың санын анықтаңыздар.

13. Ұзындығы 2 см, диаметрі 0,2 мм металл қыл сым түрінде жасалған катодтың эмиссия тогы 0,4 а. Катодтың меншікті эмиссиясын есептеңіздер.

14. Катодтың эффективтілігі 50 ма/вт, қыздыру тогы 0,9 а, қыздыру кернеуі 6,3 в болса, онда ондағы токтың шамасы қандай?

15. 44-суретте 5Ц3С кенотронның вольт-амперлік характе-



44-сурет. 5Ц3С кенотронының вольт-амперлік характеристикасы.



ристикасы кескінделген. Характеристика бойынша мыналарды анықтаңыздар.

а) 90 в анодтық кернеуге қандай анодтық ток сәйкес келеді?  
ә) анодтық ток 300 ма-ден 550 ма-ге дейін өскенде, анодтық кернеу қаншалықты өзгереді?

б) анодтық кернеу 110 в болғанда, анодта қанша қуат сөйліп шашырайды?

в) диодтың тұрақты токқа ішкі кедергісі қандай?

16. Анодтық кернеу 12 в болғанда лампыдағы анодтық ток 4,2 ма-ге тең болса, Ленгмюр-Богуславский формуласы қалай жазылады?

17. Триодтың анод-торлық характеристикасы бойынша торлық кернеудің — 2 в-тен + 1 в-ке дейін өзгеруі анодтық кернеудің 90 в-ке өзгеруіне бара-бар. Лампының күшейту коэффициенті қандай?

#### 14—19-параграфтарға

1. Газдағы дербес электр разряды дегеніміз не? Тәуелді разряд деген ше?

2. Газ разрядты лампы дегеніміз не?

3. Балласт реостаттың қызметі қандай?

4. Солғын разрядтың доғалық разрядқа ауысу шарты қандай?

5. Не себепті газ разрядты прибордың электр өрісінде оң иондардың жылдамдығы электрондардың жылдамдығымен салыстырғанда өте аз?

6. Металдағы, вакуумдағы, плазмадағы өткізгіштік электрондар арасындағы принципиальды айырмашылық қандай?

7. Кері жағу дегеніміз не?

8. Вакуумдық триод пен тиратрондағы тордың функцияларының айырмашылығы неде?

9. Жұмыс кезінде иондық приборларда газ неге жарқырайды?

10. Катодтық кемудің шағын аймағында не себепті өрістің кернеулілігі күшті болады?

11. Әлемде плазманың таралуына мысалдар келтіріңіздер.

12. Газдағы электр разряды Ом заңына бағына ма?

13. Кондукторына жанып тұрған шырпыны жақындатқанда электроскоп не себепті разрядталады?

14. Сутегін иондау үшін электрон қандай орташа жылдамдық алуы керек?

15. Сынап атомын иондауға қабілетті электронның ең аз жылдамдығы қандай?

16. Ксенонның иондану энергиясы 12,1 эв. Кернеулігі 100 в/м

электр өрісінде электронның ксенон атомымен соқтығысқанға дейінгі еркін жүру жолының ұзындығы қандай?

17. Электрон кернеулік векторына қарама-қарсы бағытта, электр өрісіне  $1,83 \cdot 10^6$  м/сек жылдамдықпен ұшып кірді. Электрон сутегі атомын иондауға жеткілікті энергия алу үшін қандай потенциалдар айырымын жүріп өту керек?

18. Электр доғасының қалыпты жұмыс режимі: 40 в, 60 а. Қоректендіруші ток көзінің ішкі кедергісі 0,1 ом, оның қысқыштарындағы кернеу нагрузка жок кезінде — 106 в. Балласт реостаттың кедергісін есептеңіздер.

## 20-параграфқа

1. Лорентц күші дегеніміз не?

2. Кернеулік сызығына перпендикуляр бағытта ұшып, электрон біртекті электр өрісіне кірді. Электрон өрісте қандай траектория сызады?

3. Кернеулік векторымен доғал бұрыш жасап ұшып, электрон электр өрісіне кірді. Электронның өрістегі траекториясы қандай? Өрістен ұшып шыққандағы траекториясы ше?

4. Зарядталған бөлшектің біртекті магнит өрісінде тұйық шеңбер бойымен қозғалу шарты қандай?

5. Протон біртекті магнит өрісінде бұранда сызық бөйымен қозғалады. Оның бастапқы жылдамдығының бағыты туралы не айтуға болады?

6. Кернеулігі 1 в/м өрістегі электронға қандай күш әсер етеді? Электронға қандай үдеу беріледі?

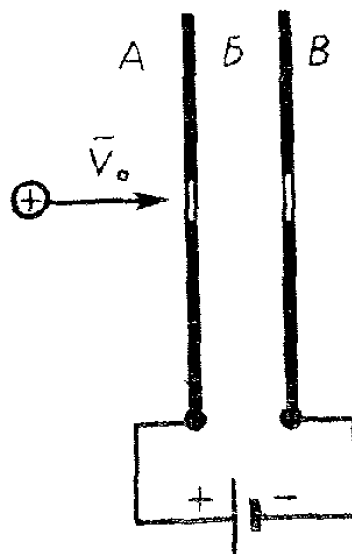
7. Вакуумдағы электр өрісі электрон ұшып өтетін тесігі бар параллель екі металл пластинка арқылы жасалады (45-сурет).

Электронға *A*, *B*, *B* аймақтарында қандай өріс (үдетуші және баяулатушы) әсер етеді?

Пластинкалар арасындағы өрістің кернеулігі қандай? Ток көзі қысқыштарындағы кернеу 10 в, пластинкалардың ара қашықтығы — 0,1 м.

Электрон жылдамдық бағытын кері өзгерткенше қанша жол жүреді? Электронның бастапқы жылдамдығы (бірінші пластинканың тесігінен өту кезіндегі)  $10^6$  м/сек.

8. Электрон тепе-тең күйде болу

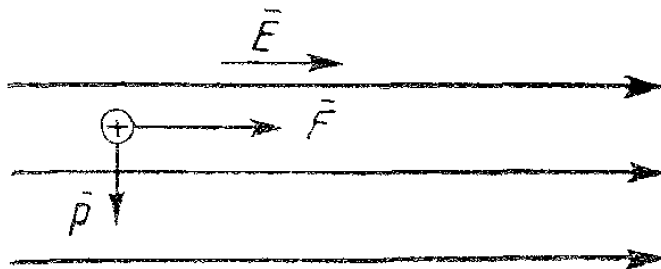


45-сурет. Электр өрісі параллель екі металл пластиналармен жасалып тұр (7-есепке).

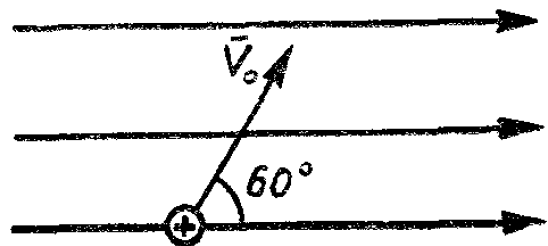
үшін, электр өрісі кернеулігінің бағыты және шамасы қандай болу керек?

9. Электрон 25 в потенциалдар айырымын жүріп өтті. Егер оның бастапқы жылдамдығы ноль болса, онда оның ақырғы жылдамдығы қандай? Осы жылдамдықты екі есе арттыру үшін потенциалдар айырымы қандай болуы керек?

10. Бастапқы жылдамдығы жоқ альфа-бөлшек потенциалдар айырымы 100 в электр өрісін жүріп өтті. Оның ақырғы жылдамдығы қандай (46-сурет)? Бөлшектің салмағынан оған өрістің әсер ететін күші неше есе артық? Бөлшек 0,01 м жолды қанша уақытта жүріп өтеді?



46-сурет. Зарядталған бөлшекке электр өрісі және өз салмағы әсер етеді (10-есепке).



47-сурет. Протон электр өрісіне кернеулік векторына  $60^\circ$  бұрыш жасап ұшып кіреді (11-есепке)

11. Протон біртекті электр өрісіне 10 км/сек бастапқы жылдамдықпен, кернеулік векторына  $60^\circ$  бұрыш жасай ұшып кірді (47-сурет). Өрістің кернеулігі  $E=1$  в/м. Протонның 0,0001 секундтан кейінгі жылдамдығын және қозғалыс бағытын табыңыздар. Протон қандай үдеу алады? Ол қандай траекториямен қозғалады?

12. Индукциясы 0,01 тл магнит өрісінде электрон радиусы 0,5 см шеңбер бойымен қозғалады. Оның сызықтық және бұрыштық жылдамдығы қандай?

13. Электрон біртекті магнит өрісіне индукция сызығына перпендикуляр бағытта  $10^7$  м/сек бастапқы жылдамдықпен ұшып кіреді. Оған магнит өрісі қандай күшпен әсер етеді? Ол қандай траекториямен қозғалады?

14. Электрон потенциалдар айырымы 900 в электр өрісінен магнит өрісіне өтіп, онда радиусы 0,01 м шеңбер бойымен қозғалды. Өрістің магнит индукциясы векторының мәні қандай?

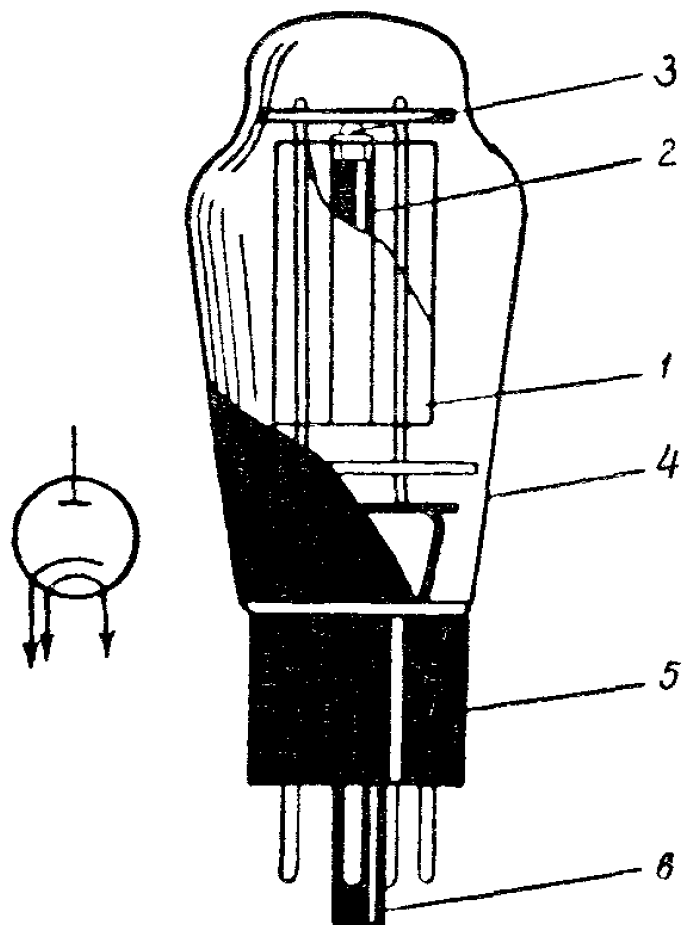
15. Индукциясы 0,2 тл біртекті магнит өрісіне электрон, индукция сызығымен  $30^\circ$  бұрыш жасай, 1760 км/сек бастапқы жылдамдықпен ұшып кірді. Электронның магнит өрісінде сызатын спиралының радиусын және адымын табыңыздар.

## ЭЛЕКТРОНДЫҚ ПРИБОРЛАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ

89. Қазіргі кезде электрондық өнеркәсіп техникалық мәліметтері, конструкциясы, үлкен-кішілігі, атқаратын қызметі жағынан бір-бірінен айырмашылығы көп сан түрлі электрондық, иондық, шала өткізгіштік приборлар шығарады. Олардың қай-қайсысының болса да жұмысының негізіне, алдыңғы тарауда қарастырылып кеткен физикалық процестер мен құбылыстар алынады. Енді төменде солардың ең мол таралған түрлерімен, олардың қайсыбірінің техникада және ғылымда қолданылуымен жүйелі түрде танысайық.

### § 1. Екі электродты электрондық лампы

90. Екі электродты электрондық лампыны (диодты) алғаш 1904 жылы ойлап тауып, осындай лампы конструкциялаған, ағылшын ғалымы *Дж. Флеминг* болды. Ал енді конструкциясы одан әлдеқайда жетілдірілген отандық радиолампылар жасап шығаруда орыс ғалымы профессор *М. А. Бонч-Бруевичтің* (1888—1940) еңбегі аса зор. Бұл тамаша ғалым радиотехниканы дамытуда аса зор роль атқарған Нижегород радиолабораториясын басқарды. Жаңа туып келе жатқан радиомен хабар таратудың тамаша мүмкіндігін көрегендікпен көре білген В. И. Ленин Нижегород лабораториясының жұмысына бағыт сілтеп, оның жұмысын үнемі қадағалап отырды. В. И. Ленин 1920 жылы 5 февральда М. А. Бонч-Бруевичке жазған белгілі хатында «...Қағазды, «жол



48-сурет. Диодтың құрылысы.

1 — анод; 2 — катод, 3 — қыздыру қыл сымы; 4 — баллон; 5 — цоколь; 6 — тағайындаушы кілт.

алыстығы» дегенді білмейтін Сіз жасап жатқан газет ұлы іс болмақшы. Осы және Сіздің басқа да жұмыстарыңызға көмек көрсетуге уәде етемін»<sup>1</sup>— деген болатын.

Вакуум диод шыны немесе металл баллоннан тұрады, оның ішінде екі электрод бар — анод және катод (48-сурет). Баллоннан ауа сорылып алынады, онда қалдық ауаның қысымы  $10^{-6}$ — $10^{-7}$  тордан аспайды. Ауаны мұндай аса сирету қажет болатыны біріншіден, ауаның молекуласы электрондардың катод пен анод арасында орын ауыстыруын қиындатады, ал ауадағы оттегінің қалдығы қызатын қыл сымды тотықтырып, оны тез күйдіріп жіберуі мүмкін, екіншіден, электрондардың катодтан шығу жұмысын өте нашарлатып жібереді. Сонымен бірге электрон-

<sup>1</sup> В. И. Ленин. Шығ., каз., 35-том, 415-бет.

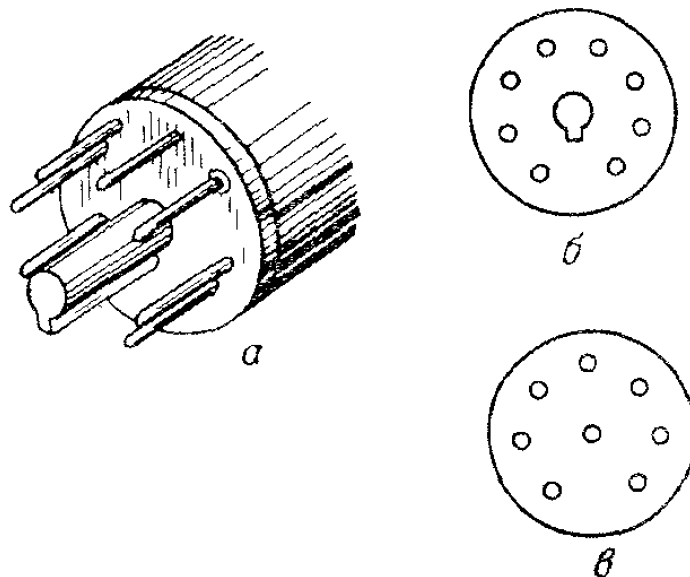
дар мен газ бөлшектерінің соқтығысуы нәтижесінде оң иондар пайда болады да, олар катодты атқылап, оның активтендіруші қабатын бұзады.

Лампының вакуумын жақсарту мақсатымен оны жасаған кезде, баллон ішіне химиялық жұтқыш — геттер (барий, магний немесе олардың қосындысын) енгізеді. Лампының электродтарын айнымалы магнит өрісінде құйынды токпен қыздырады, сонда геттер буланады да, баллон қабырғасына айна сияқты жарқыраған (магний) немесе күйе тәріздес күңгірттенген дақ (барий) жабысады.

Бұл қабат ауа қалдықтары мен лампы жанған кездегі электродтардан бөлінетін газды жұтады.

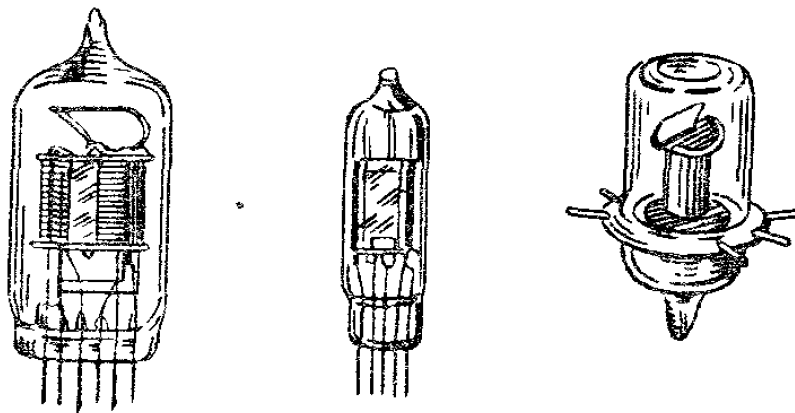
Лампыны электр жүйесіне қосу қызметін контактілік сирақтар (штырьлар) атқарады, олар арқылы лампы лампылық панельге орнатылады (49-сурет). Лампылардың дұрыс орнатылғанын арнаулы кілтпен немесе штырьлардың симметриялы орналаспауынан біледі. Цокольсіз де және штырьсыз да лампылар болады (50-сурет). Штырьсыз лампылар жоғары және аса жоғары жиілікті тербелістер жағдайында қолданылады.

Электрондық приборлар жайындағы анықтама-



49-сурет.

*а* — лампы цоколындағы штырьлар мен кілттердің орналасуы, *б* — ортасында кілтке арналған тесігі бар октадьдық панель; *в* — цокольсіз лампыға арналған панель

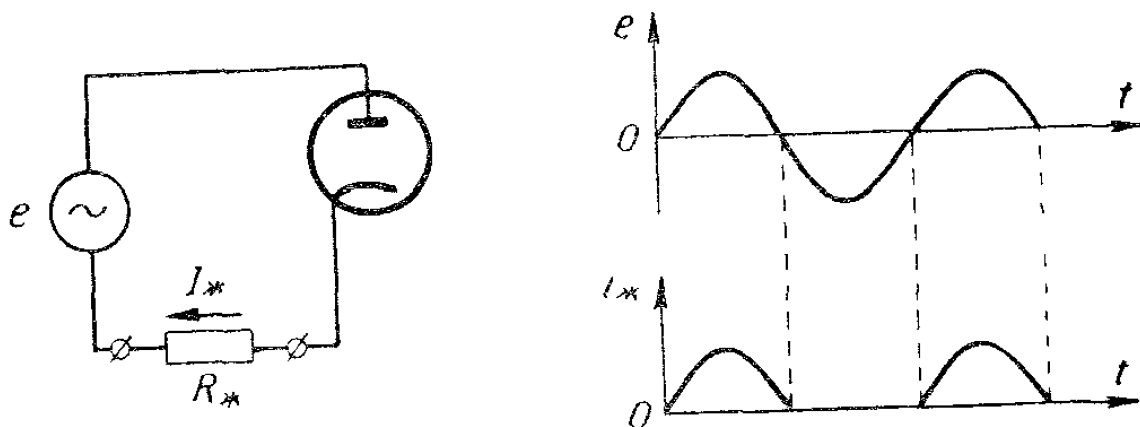


50-сурет. Цокольсіз және штырьсыз лампылар.

лықтарда (справочниктерде) лампы электродтарының қайсысының қай штырьға немесе қай шығысқа қосылғанын көрсететін лампы цокольдемелері келтіріледі.

**91.** Екі электродты лампылар айнымалы токты түзету үшін қолданылады, өйткені олардың вентильдік қасиеттері бар. **Вентиль деп электр тогын тек бір бағытта өткізетін (анодтан катодқа қарай) приборды айтады.**

Лампыны айнымалы ток тізбегіне қосқанда (51-сурет) жүктік резистор ( $R_{ж}$ ) арқылы тек оң жарты периодты ток қана өтеді. Бұл ток бағыты жағынан тұрақты да, шама жағынан айнымалы, сондықтан оны **толықсыма ток** деп атайды.



51-сурет. Диодтың түзеткіштік әрекеті.

Түзеткіш диодтар **кенотрондар** деп аталады. Аса қуатты кенотрондарда жанама қыздырылатын оксидті катодтармен қоса, жуан қыл сымды тура қыздыру катоды (жылулық инерцияны арттыру үшін) пайдаланылады.

Радиоаппаратураларда жоғары жиілікті токтарды түзету үшін қолданылатын лампыларды **детекторлық** деп атайды. Олар шағын қуатты болады.

**92.** Диод өзінің параметрлерімен сипатталады. Ол қыздыру кернеуі, қыздыру тогы, рұқсат етілетін кері кернеуі (лампы изоляциясы әлі де бұзылмаған жағдайдағы), анодта шашырау қуаты, диодтың ішкі кедергісі, рұқсат етілетін анодтық максимал ток және характеристиканың тіктігі, міне, осының бәрі **диод лампының параметрлері**.

Электрондармен атқылағанда анод қызарып қатты қызады. Бұл кезде анодтан газ бөлініп шығады да, вакуум нашарлайды, ал ток тым көп болған жағдайда, анод балқып та кетуі мүмкін. Сондықтан анодтың әрбір типі үшін рұқсат етілетін қуаттың тағайындалған шамасы (шашырату қуаты) бар, онда анод бұзылмай-ақ қабылдаған жылулық энергиясын шығарып үлгіреді. Анодтағы рұқсат етілетін шашырату қуаты оның материалына және анодтың ауданына байланысты. Мысалы, ақ никельден жасалған анод үшін ол —  $0,5—4,5 \text{ вт/см}^2$ , қара никель үшін —  $2,3—6,2 \text{ вт/см}^2$ , молибден үшін —  $4—6 \text{ вт/см}^2$ , тантал үшін —  $7—9 \text{ вт/см}^2$ , мыс (сумен суытылатындарында) —  $25—30 \text{ вт/см}^2$ .

Анодтан жылуды жақсы әкету үшін оның бет ауданын арттырады (қырлы етіп жасайды), қара түр береді, ал қуатты диодтарда — танталды, мысты және графит анодтыларда — арнаулы ағып өтпелі ауамен немесе сумен суыту қолданылады. Сумен суытылатын бірінші қуатты лампыны совет ғалымы М. А. Бонч-Бруевич 1919—1921 жылдары-ақ жасап шығарған.

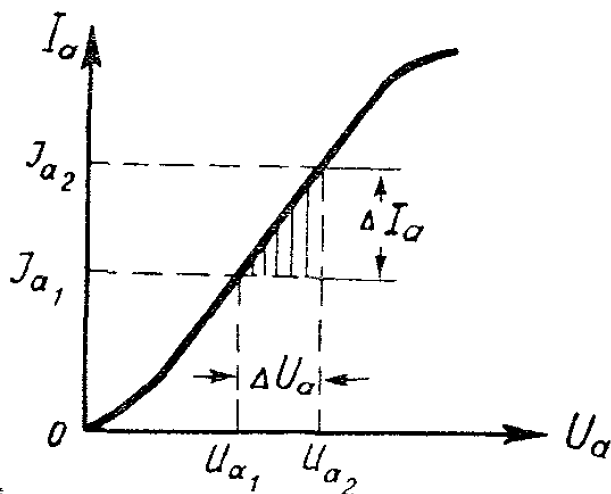


**93.** Диодтың және оның жұмысын сипаттаушы маңызды параметрлер — характеристиканың тіктігі мен ішкі кедергі болып саналады.

Диодтың ішкі кедергісі деп (айнымалы ток үшін) анодтық кернеудің өсімшесінің анодтық ток өсімшесіне қатынасын (қыздыру кернеуі өзгермеген жағдайда) айтады:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}. \quad (U_k = \text{const болғанда}). \quad (29)$$

Ішкі кедергіні диодтың вольт-амперлік характеристикасы бойынша (оның түзу сызықты бөлігіндегі мәні бойынша) табуға болады (52-сурет).



52-сурет. Диодтың ішкі кедергісін вольт-амперлік характеристикасы бойынша анықтау.

Диодтың ішкі кедергісіне кері шама характеристиканың тіктігі деп аталады, яғни:

$$S = \frac{1}{R_i}. \quad (30)$$

Диодтардың ішкі кедергісі жүздеген омнан бірнеше мыңдаған омға жетеді.

**94.** Кенотрондар және диодтар былай маркирленеді (ГОСТ—7624-62): бірінші цифр қыздыру кернеуінің дөңгелектеп алын-

ған шамасын, екінші орындағы «Ц» әрпі ол лампының кенотрон, ал «Д» әрпі диод екенін, үшінші орындағы цифр — лампы типінің нөмірін, ал соңғысы — лампының конструкциялық тегін көрсетеді [С — шыны баллон, П — саусақты лампы, Ж — лампы «Желудь» типтес, А — шыны баллонды миниатюр (өте кішкентай) лампы].

Мысалы:

5Ц4С — қыздыру кернеуі 5 вольт, шыны баллонды кенотрон,

1Ц11П — кернеуі 1 вольт, саусақты кенотрон.

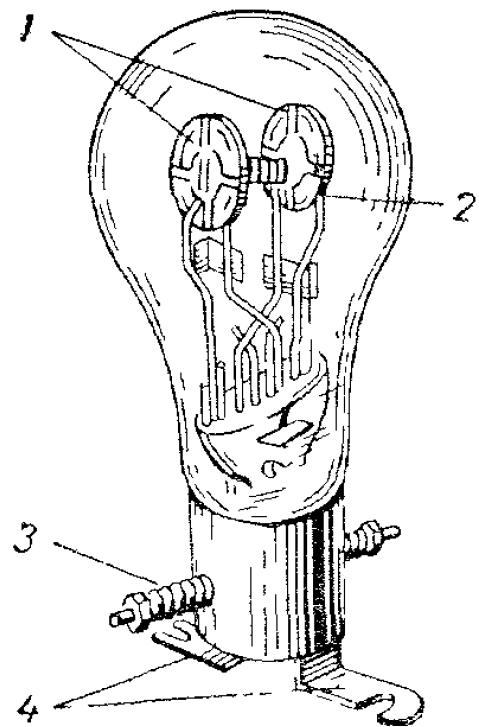
## § 2. Газотрон

**95. Газотрон** — бұл газ разрядты екі электродты лампы. Прибор аноды және қыздырылатын катоды бар шыны баллоннан тұрады. Бұл сынап буымен немесе инертті газбен толтырылады. Газотрондарда оксидті қабыршақпен қапталған тура және жанама қыздыру катодтары қолданылады. Анод никельден, болаттан, графиттен жасалады.

53-суретте төмен вольтті екі электродты аргонмен толтырылған ВГ-176 газотроны көрсетілген. Мұны қосарланған диодты лампы деп атайды.

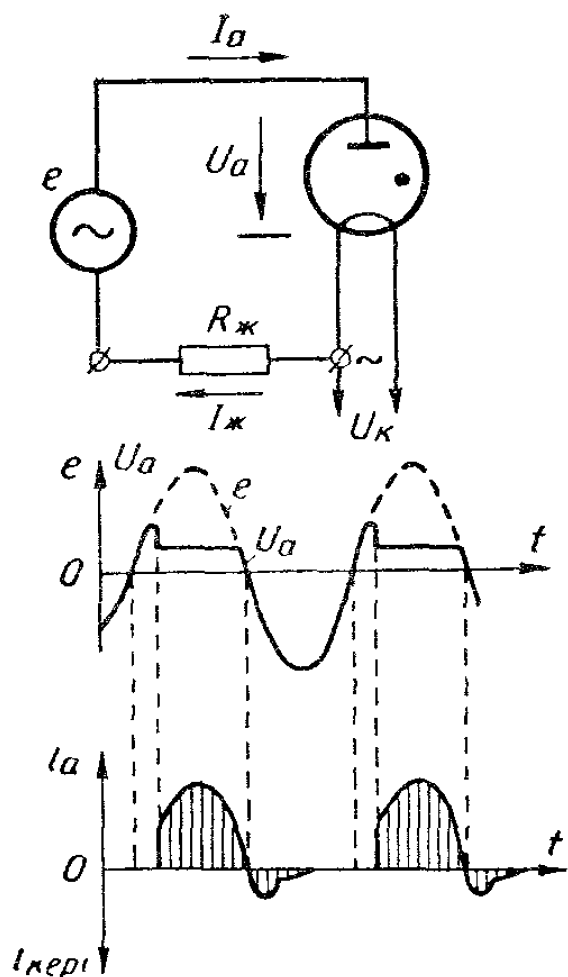
**96. Газотронның** вентильдік қасиеті бар. Онда ток анодтан катодқа қарай ғана өтеді (аздаған кері токты практикада есептемесе де болады).

Мұнда да, қалыпты диод сияқты, қызған катод электрон шығарады, ал олардың оң зарядталған анодқа қарай ұшатыны белгілі. Анодтық кернеуді жағу кернеуі деп аталатын кернеуге шейін арттырғанда газдың иондануы басталады да, доғалық разряд пайда болады, иондану кезінде пайда болған электрондар да анодқа қарай ұшады.



53-сурет. ВГ-176 газотронның құрылысы.

1 — анодтар; 2 — катод; 3 — анодтардың шығысы; 4 — қызатын қыл сымның (катодтың) шығысы



54-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі газотрон

54-суретте айнымалы ток тізбегіне қосылған газотронның тогы мен кернеу шамасын көрсететін график берілген. Оң жарты период кезінде анодтық кернеу жағу кернеуі мәніне дейін өседі, ал одан кейін кенет төмендеп, ток көзінің кеміп бара жатқан кернеуі өшу кернеуіне жеткенше, өзгеріссіз қалады.

Анодтық ток жағу кезінде кенет пайда болады да (аздаған электрондық ток ескерілмейді), доғалық разряд өшкен кезде тоқтайды.

Теріс жарты периодта анодтық тізбекке ток өтпеуі керек. Алайда, анодтық кернеудің таңбасы өзгерген кезде лампы бал-

лонында әлі де болса электрондар мен иондар саны өте көп те, олар бірден рекомбинацияланып үлгірмейді. Электрон бұл кезде анодтан тебіледі де, оң зарядталған катодқа қарай, ал оң иондар теріс зарядталған анодқа қарай қозғалады, алғашқы кезде аздаған кері ток жүреді де, кейін нольге дейін тез кемиді.

Газотронда кернеудің кемуі одан өтетін токтың шамасына байланысты емес және иондану басталар кездегі кернеуге тең болады.

Газотрондардың типтеріне қарай бұл кернеу 12—18 в болады. Прибордың ішкі кедергісі аз, сондықтан ол күшті токты түзете алады. Газотрондардың пайда-

лы әсер коэффициенттері өте жоғары, ол 90%-тен астам болады.

97. Сынапты газотрондарды эксплуатациялау кезінде мынадай ережелерді сақтау керек:

а) Жұмыс температурасы төмендеп кетпеуі керек, өйткені ол кезде сынап буының тығыздығы азаяды; осы себептен лампының ішкі кедергісі өседі, өрістің кернеулігі артады, иондар зор жылдамдық алады да, катодты атқылап, оны бұзады.

ә) Катодтың аса қызып кетуіне жол бермеу керек. Ол аса қызып кетсе, активті қабат буланады да, эмиссия кемуіне әкеп соғады.

б) Катодты жеткілікті қыздырмау да қауіпті. Ол жеткілікті қыздырылмаса, эмиссия тоғы, плазмадағы зарядтарды тасушылардың концентрациясы азаяды, прибордың ішкі кедергісі артады, мұның өзі анодтық кернеудің артуына әкеп соғады, газдың оң иондары қосымша үдеу алып, катодты интенсивті атқылап оны бұзады.

в) Газотронды түзеткішпен жұмыс істегенде мыналарды ескерген жөн: ең алдымен қыздыру кернеуін қосады да, катод қызғаннан кейін ғана анодтық кернеу береді. Бұл ережені сақтамағанда, катод жеткілікті қызбауы мүмкін.

98. Егер анодқа тез өсетін анодтық теріс кернеу беретін болсақ, онда анодқа қарай қозғалған оң зарядталған иондар жеткілікті мөлшерде кинетикалық энергия алып, анодты атқылайды да, одан электрондарды жұлып шығара бастайды. Бұл электрондар анод пен катод арасындағы газды иондайды. Анодтың теріс потенциал кезіндегі доғалық разрядының пайда болуын кері жағу деп атайды. Мұндайда лампы айнаымалы токты түзетпейді және оның істен шығуы мүмкін

Газотрондардың әрбір типтерінің паспорттарында оларға рұқсат етілетін кері кернеудің шамасы көрсетіледі.

**99.** Газотрондардың маркирленуіне мысалдар келтірейік: ГГ1—0,5/5 — газбен толтырылған газотрон, түзетілген ток 0,5 а-ге дейін, рұқсат етілетін кері кернеуі 5 киловольт.

ГР1 — 0,25/1,5 — «Р» әрпі сынаппен толтырылғанын білдіреді, басқа цифрлары мен әріптері мысалдағы мәндерді білдіреді.

Қазіргі кезде газотрондарды көбіне бір анодты етіп жасайды және оларға сынап буының орнына инертті газдардың қоспасын, мысалы, ксенон мен криптон қолданылады, ал мұндай газотрондар көбіне жоғары вольтты түзеткіштерде пайдаланылады.

Газотрондардың кенотрондарға қарағанда мынадай артықшылықтары бар: ішкі кедергісі аз болғандықтан, шығыны да аз болады, лампыдағы кернеудің кемуі аз, тіпті оның анодтың ток шамасына тәуелсіз дерліктей болатындығы, габариті кіші болса да, түзетілген тогының шамасы көп болады.

Алайда, газотронның мынадай кемшіліктері де бар: катодтың аса қызуға және әсіресе жете қызбауға өте сезімталдығы, анодтық кернеуді қосар алдында бірнеше минут бойы катодты қыздыру тогымен алдын ала қыздырып алу қажет болатындығы.

### § 3. Неондық лампы

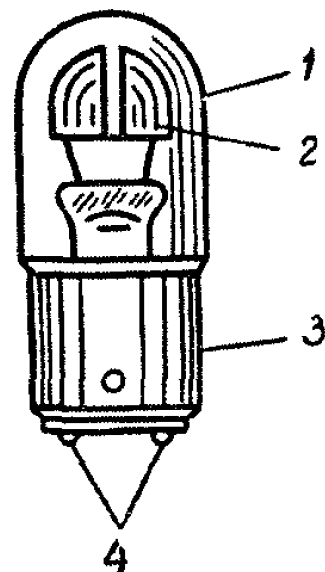
**100.** Неондық лампы суық катодты газ разрядтық прибор (солғын разряд лампысы) болып табылады. Неонмен толтырылған шыны баллонда (55-сурет) екі электрод (қуыс цилиндрлер, дискілер, цилиндр және стержень түрінде) болады. Ол электродтар молибденнен, цирконийден, сондай-ақ цезий немесе барий қапталған активтендіруші қабаты бар никельден жасалады.

Жағу кернеуі лампылардың типтеріне қарай 30 в-тан 180 в-қа дейін жетеді.

Неондық лампылар кернеу индикаторлары ретінде және генераторлар схемаларында пайдаланылады.

Ток тұрақты болғанда газдың қызыл сәулесі теріс электрод, ал айнымалы ток кезінде газ екі электрод жанында да жарқырайды. Сонымен бірге неондық лампылар автоматика схемаларында және аз қуатты ток көзінің кернеуін стабильдеу (тұрақтандыру) үшін қолданылады.

Неондық лампылар атқаратын қызметіне қарай маркирленеді: СН — сигналдық неондық лампы, МН — миниатюр, ФН — фазалық, УВН — жоғары кернеуді көрсеткіш. Мысалдар: СН-2, МН-4, УВН-1.



55-сурет.  
МН-7 неон  
лампысы:

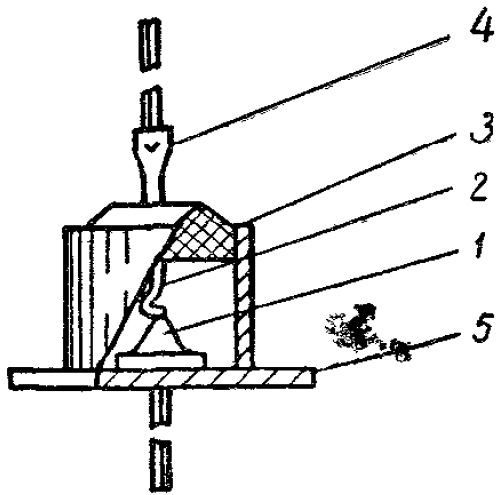
1 — баллон, 2 —  
электродтар,  
3 — цоколь;  
4 — контактілер

## § 4. Шала өткізгішті диодтар

101. Қазіргі кезде кремний, германий диодтары, селен вентильдері кеңінен қолданылады. Жалпы шала өткізгішті диодтар нүктелік және жазық болып келеді.

102. Жазық диодтар электрондық-кемтік ауысуда үлкен ауданды қамтиды, сондықтан олар күшті тоқты түзете алады. Сумен суытылатын диодтар да болады, олар бірнеше жүз ампер тоқты түзете алады.

56-суретте жазық диодтың құрылысы көрсетілген. Онда металл корпус ішінде электронды өткізгіштікті германий кристалы бар. Оған индий балқытылып құйылған, ол германийге кірігіп, шала өткізгіштің кемтіктік типінің аймағын жасайды



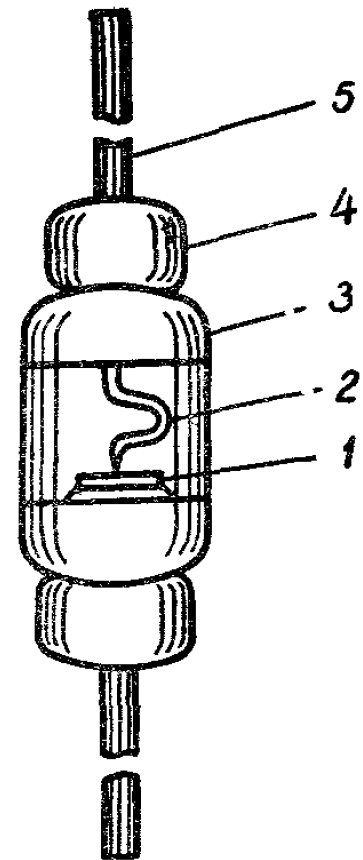
56-сурет. Шала өткізгішті жазық диодтың құрылысы:

1 — шала өткізгіштің кристалы; 2 — контактілік пластина; 3 — изолятор; 4 — шығыс; 5 — корпус.

Жазық диодтардың әжептәуір электрод аралық сыйымдылығы болады, сондықтан оларды жоғары жиілік кезіндегі жұмысқа қолдану шектелген. Нүктелік диодта шала өткізгіштің жұмыстық ауданы шағын, ал меншікті сыйымдылығы мардымсыз, сол себепті де олар жоғары жиілікте жұмыс істей алады.

Нүктелік диодта (57-сурет) үшкірленген вольфрам сым электронды типті германий немесе кремний пластинкасына тиіп тұрады. Приборды жинақтағаннан кейін оны формалайды, яғни аз уақыт күшті ток жібереді. Сонда шала өткізгіш атомдарынан электрондар бөлініп шығады және нүктелік контакт жанынан кемтіктерге бай аймақ пайда болады.

Кремнийлі диодтар, германийлі диодтарға қарағанда, аса жоғары температураларда жұмыс істейді (таблицаны қараңыздар), алайда таза кремний алу қиын.



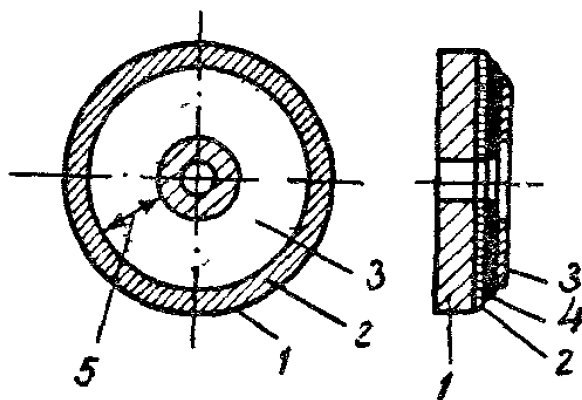
57-сурет. Нүктелік диодтың құрылысы:

1 — шала өткізгіш; 2 — болат контакт; 3 — корпус; 4 және 5 — шығыстық ұштар.

**103.** ГОСТ 10862—64 бойынша, шала өткізгішті диодтар былай маркирленеді: бірінші элемент — әріп немесе цифр қандай материал екенін көрсетеді (Г немесе 1 — германий, К немесе 2 — кремний, А немесе 3 — галлий арсениді); екінші элемент — Д әрпі — диод, белгілеудің үшінші элементі — сан — прибордың атқаратын қызметін және оның электрлік қасиетін көрсетеді (мысалы, 301-ден 399-ға дейінгі сандармен төмен жиілікті қуатты диодтар белгіленеді).

Қайсыбір шала өткізгіштік приборлар ескі маркирленуін сақтаған, мысалы, Д7А, Д9Ж, Д1Г т. т.

**104.** Түзеткіш тетіктерде селенді вентиль кеңінен қолданылады. Мұндай вентильдер селеннің жұқа қабатымен қапталған болат немесе алюминий негізден тұрады (58-сурет). Селеннің үстіне катодтық қорытпа (қалайы, кобальт және висмут қоспасы) қондырылады. Селен мен катодтық қорытпаның бөліну шекарасындағы негізгі заряд тасушылардың диффузиялануы нәтижесінде электрондық - кемтіктік ауысу пайда болады. Вентильдің негізі — анод, ал катодтық қорытпа — катод болып табылады.



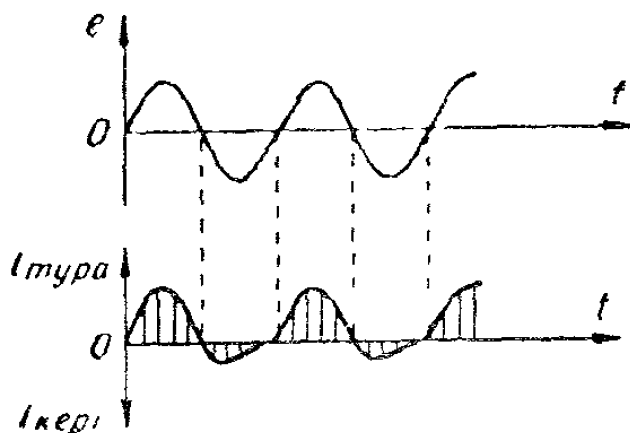
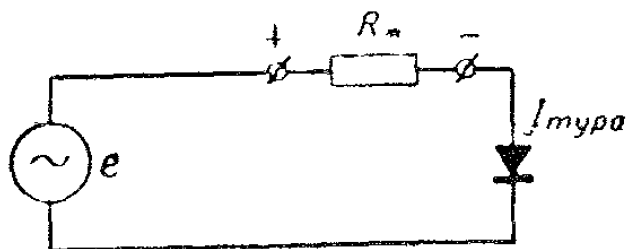
58-сурет. Селендік вентильдің құрылысы:

1 — болат немесе алюминий негіз, 2 — селен қабаты, 3 — катодтық қорытпа, 4 — жаппа қабат.

**105.** Шала өткізгіштік диодта айнымалы ток тізбегінде  $p-n$  ауысудың меншікті сыйымдылығы мен кері кернеу кезінде негізгі емес тасушылардың аздап «сорылуы» салдарынан кері токтың импульсы елерліктей болуы мүмкін (59-сурет). Түзеткіш схемаларда кері ток импульсы аз, оны елемесе де болады.

**106.** Электрондық лампылармен салыстырғанда шала өткізгіштік приборлардың бірқатар артықшылы-





59-сурет. Шала өткізгішті диодтың түзеткіштік әрекеті. Төменгі графикте кері ток импульсы көрсетілген.

ғы бар: шағындығы, қыздыру ток көзінің жоқтығы, үнемділігі, п. э. к. жоғарылығы, коректендіруші ток көзі кернеуінің төмендігі. Бұлардың кемшіліктері деп мыналарды айтуға болады: жұмыс сапасының температураға тәуелділігі, тіпті бір прибордың өзінің параметрлерінің түрліше болып келуі, кері ток болатыны, электродтар аралық сыйымдылықтың (жазық диодтарда) елеулі болуы.

Шала өткізгіштік диодтардың негізгі параметрлері: түзетілген максимал ток, рұқсат етілетін максимал кернеу, жұмыстық температура, жұмыстық жиілік, меншікті сыйымдылықтың шамасы. Параметрлердің кейбіреуі мына таблицада келтірілген (салыстыру үшін):

Параметрлері	Кремнийлі диод	Германийлі диод	Селенді диод
Токтың рұқсат етілетін тығыздығы ( $a/cm^2$ )	100—200	80—200	0,03—0,07

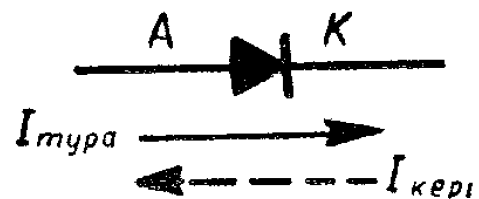
Параметрлері	Кремнийлі диод	Германийлі диод	Селенді диод
Рұқсат етілетін максимал кері кернеу ( $v$ )	100—600	100—400	35—60
Тура бағытта диодтағы кернеудің кемуі ( $v$ )	1,0—1,5	0,25—0,5	0,5—0,7
Максимал жұмыстық температура ( $^{\circ}C$ ).	125—140	50—70	85—130

Бұл таблицадан германийлі және кремнийлі диодтардың селенді диодтардан көп артықшылығы барлығы көрінеді. Міне, сондықтан да қазіргі кезде германийлі және кремнийлі диодтар селенді диодтарды ығыстырып шығаруда.

## § 5. Түзеткіштер

107. Біз кенотронның, газотронның, шала өткізгіштік диодтың түзеткіштік әрекетімен таныстық. Міне, бұл приборлардың барлығы да электр схемаларында көбіне бір ғана жалпы шартты белгімен белгіленеді (60-сурет). Сонымен бірге идеал түзеткіш элемент (вентиль) тоқты тек бір ғана бағытта — анодтан катодқа қарай өткізеді, ал кері ток нольге тең деп есептелінеді.

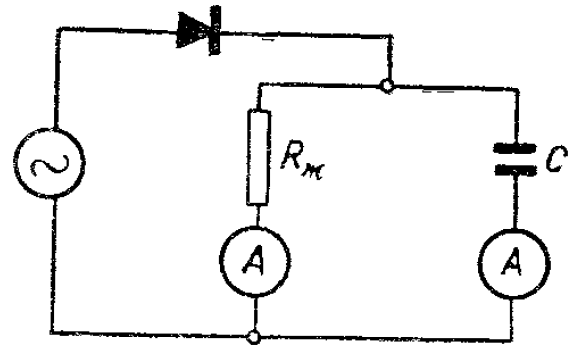
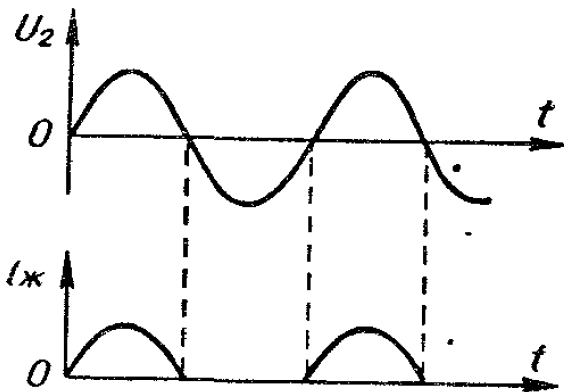
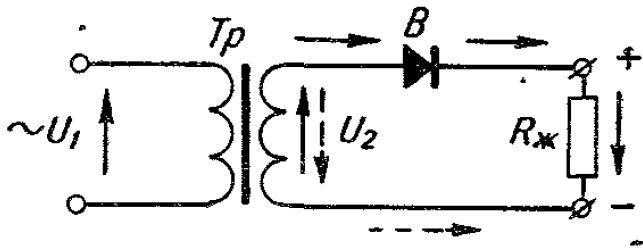
108. Қарапайым түзеткіштің схемасы 61-суретте көрсетілген. Күштік трансформатор ( $T_p$ ) айнымалы кернеуді керекті шамаға дейін алдын ала жоғары-



60-сурет Вентильдің шартты графиктік кескіні:

A — анод, K — катод.

лату немесе төмендету қызметін атқарады.  $R_{жс}$  — жүк-тік резистор (ток қабылдағыш),  $B$  — вентиль. Вентильдің бір жақты өткізгіштігі арқасында резистор ( $R_{жс}$ ) арқылы ток тек бір жарты периодта ғана өтеді.



↑  
62-сурет. Толықсыма токтың тұрақты және айнымалы құраушылары бар екендігіне көз жеткізуге арналған электр схемасы.

←  
61-сурет. Бір жарты периодты түзеткіштің схемасы және түзетілген токтың графигі.

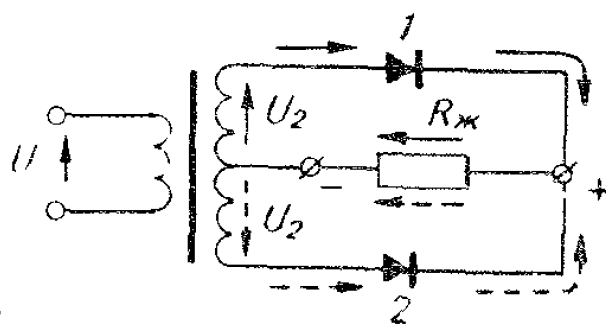
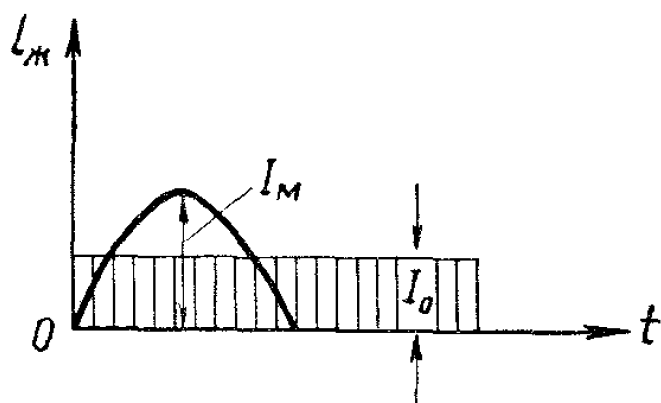
Сондықтан түзеткіш **бір жарты периодты** деп аталады. Мұндай түзеткіш арқылы алынған ток **толықсыма ток**, яғни шама жағынан айнымалы, бағыт жағынан тұрақты. Ал ондай токтың тұрақты және айнымалы құраушылары бар екеніне көз жеткізу үшін мынадай тәжірибе жасаймыз: 62-суретте көрсетілгендей егіп тізбек құрастырамыз.  $R_{жс}$  резисторына тізбектей, тек тұрақты токқа ғана әсерленуші магнито-электрлік системалы амперметр, ал айнымалы ток өткізетін конденсаторға тізбектей айнымалы ток амперметрін қосамыз. Сонда екі прибор да тізбекте ток бар екенін көрсетеді.

Былайша айтқанда, толықсыма ток, тұрақты құраушыдан басқа, гармоникалар деп аталатын толып жатқан айнымалы құраушылар жиынынан тұрады. Біз тек қана бірінші гармониканы есепке аламыз, өйткені қалғандарының амплитудасы өте мардымсыз.

Тұрақты құраушыны түзетілген токтың орта мәні деп атайды (бұл кернеуге де қатысты). Толықсыма токтың орташа мәні деп онымен эквивалент тұрақты токтың сондай өткізгіш арқылы уақыт бірлігі ішінде өтетін электр мөлшеріне тең шамасын айтады. Бір жарты периодты түзетуде токтың орташа мәні:

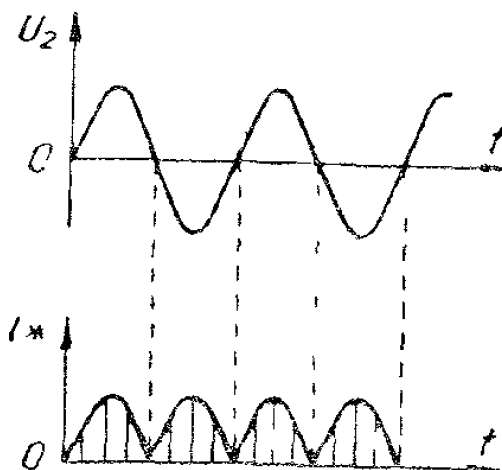
$$I_0 = \frac{I_M}{\pi}. \quad (31)$$

Мұндағы  $I_M$  — түзетілген ток амплитудасы (63-сурет). Әрбір вентиль рұқсат етілетін кері кернеумен сипатталады. Сондықтан әрбір түзеткіштің қандай ең үлкен кері кернеу шығаратынын білу аса маңызды.



↑  
63-сурет. Толықсыма токтың орташа мәні.

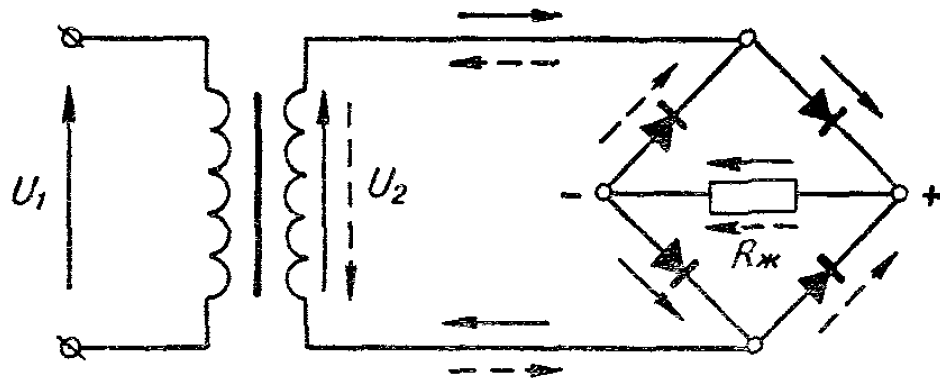
→  
64-сурет. Екі жарты периодты түзеткіштің схемасы және түзетілген токтың графигі.



63-суреттегі схема үшін ол трансформатордың екінші реттік обмоткасының э. қ. к. амплитудасына тең, яғни:

$$U_K = E_{2M}.$$

**109.** Миткевичтің екі жарты периодты түзеткішінде (64-сурет) кезекпен жұмыс істейтін екі вентиль бар: егер, мысалы, оң жарты пе-



65-сурет. Екі жарты периодты түзеткіштің көпірлік схемасы.

риодта ток (1) вентиль арқылы өтсе, онда теріс жарты периодта ток (2) вентиль арқылы өтеді. Мұнда түзетілген токтың орташа мәні бір жарты периодты түзетілген токқа қарағанда екі есе артық, яғни:

$$I_0 = \frac{2I_m}{\pi}. \quad (32)$$

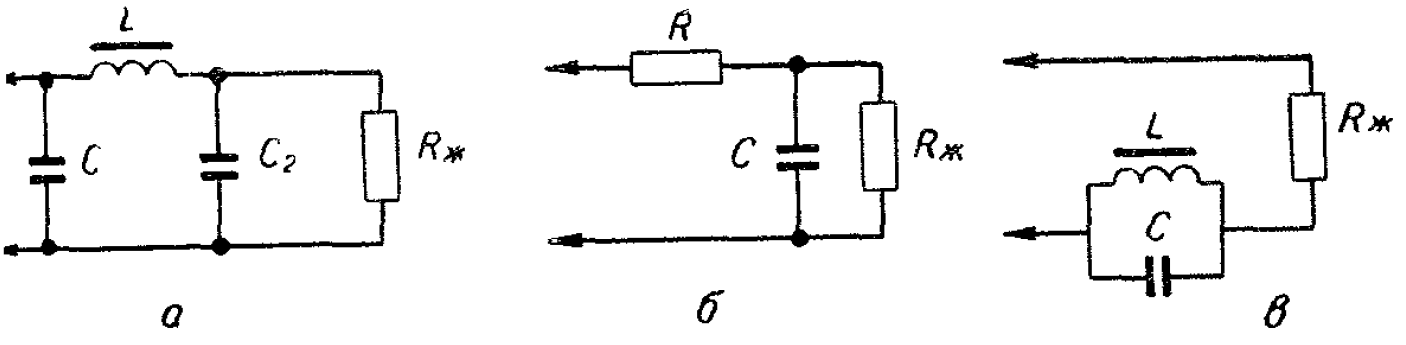
Кері кернеу

$$U_k = 2E_{2m}.$$

65-суретте екі жарты периодты түзеткіштің көпірлік схемасы кескінделген. Онда төрт вентиль бар. Бірақ Миткевичтің схемасынан оның айырмашылығы күштік трансформатордың екінші реттік обмоткасының орамдар саны екі есе аз болатындығында. Кері кернеу

$$U_k = E_{2m}.$$

**110.** Түзетілген кернеудің толықсуын тегістеу үшін **тегістеуші фильтрлер** қолданылады. Олардың ең көп тарағаны — индуктивті-сыйымдылық фильтрі (66, а-сурет). Конденсатордың тегістеуіш әрекеті мынада: түзетілген токтың жарты периодының бірінші ширегінде ол зарядталады да, ал екінші ширегінде ток қабылдағышқа разрядталады (67-сурет). Сонда тұрақты құраушы біраз артады. Ферромагнит өзекшелі дрос-

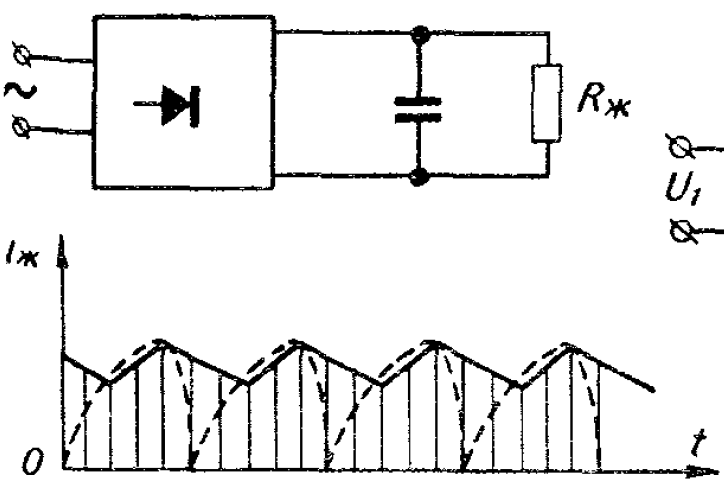


66-сурет. Тегістеуші фильтрлердің схемалары:

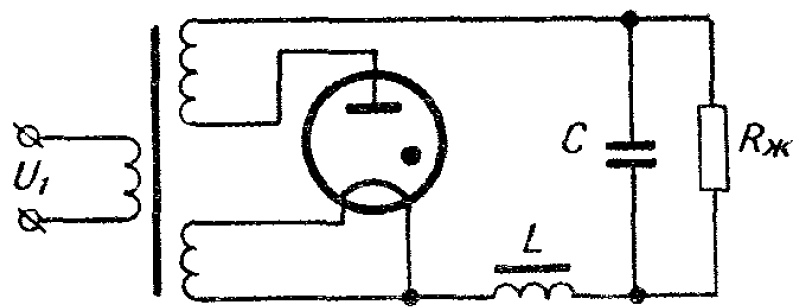
а — индуктивті-сыйымдылықты, б — реостатты-сыйымдылықты, в — резонансты.

сельдің индуктивтілігі күшті. Жарты периодтың бірінші ширегінде дроссель индукциясының э. қ. к. токқа қарсы бағытталған; жарты периодтың екінші ширегінде тізбектегі ток азаяды, индукцияның э. қ. к. бұл кезде токпен бағытас болады да, оны қолдайды.

**Реостатты-сыйымдылықты фильтр (66,б-сурет)** айнымалы құраушының кернеуі резистор ( $R$ ) мен конденсаторға ( $C$ ) бөлінетін принцип негізінде жұмыс істейді. Өйткені конденсатордың айнымалы токқа кедергісі аз, демек, оның қысқыштарындағы ( $R_{жс}$  қысқыштарында да) айнымалы кернеу мардымсыз бола-



67-сурет. Конденсатордың тегістеуші әрекеті.



68-сурет. Газотронды түзеткіштің схемасы.

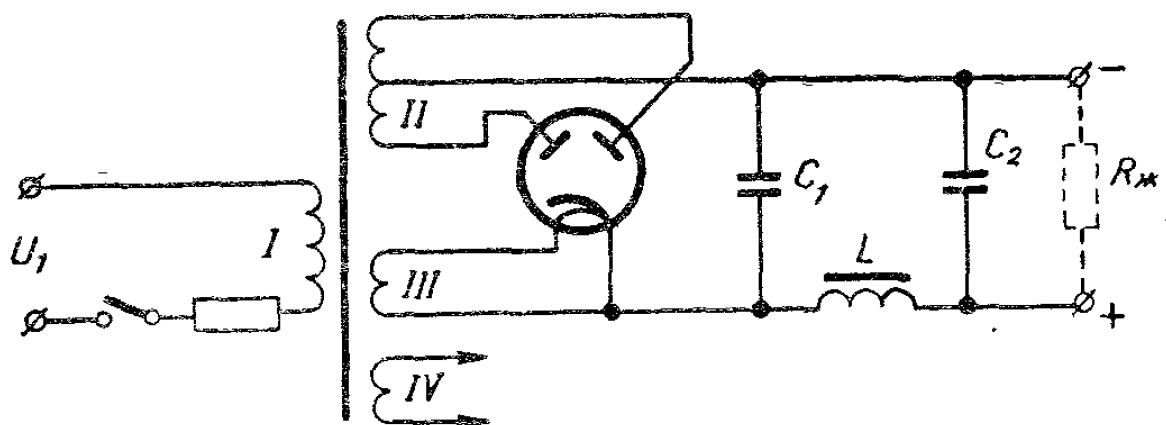
ды. Мұндай фильтрлер шағын қуатты түзеткіштерде пайдаланылады.

**Резонансты фильтрде** (66, в-сурет)  $L$ ,  $C$  контуры толықсу жиілігіне келтіріледі де, резонансты жиілік тогына үлкен кедергі жасайды.

**Газотронды түзеткіштің тегістеуші фильтрінің ерекшелігі оның конденсатордан емес, дроссельден басталатындығы** (68-сурет). Өйткені фильтрдің кірісінде конденсатор тұрған болса, онда газотрон арқылы зарядтық токтың өте зор импульсы өткен болар еді, ал бұл катодты газдың оң иондарымен интенсивті атқылауға әкеп соққан болар еді.

**111.** Екі жарты периодты түзету үшін өндіріс екі анодты кенотрон түзеткіштер шығарады. Әдетте электронды тетікті лампылардың қыздырылатын қыл сымдарын қоректендіру үшін түзеткіштің күштік трансформаторының қосымша обмоткасы болады. Түзеткішті мүмкін болатын қысқа тұйықталудың зардабынан сақтау үшін трансформатордың бірінші реттік тізбегіне балқығыш қорғағыш қосады (69-сурет).

Алайда, мұндай схемаларда әрбір вентильдегі максимал кері кернеу барлық жоғарылатушы обмоткалар кернеуінің амплитудалық мәніне жетуі мүмкін. Бұл дәл осы схеманың кемшілігі болып табылады, ал ол оны жоғары кернеу кезінде пайдалануға кесірін тигізеді. Аса көп емес,  $10\div 20$  ма шамасындағы жүктік



69-сурет. Кенотронды түзеткіштің схемасы.

токтарда жоғары кернеулі түзетілген ток алу үшін көбейткішті түзеткіштер схемасын пайдаланады. Оларда шала өткізгішті диодтар кеңінен қолданылады, сондықтан олар шағын және механикалық беріктігі арттырылған болады.

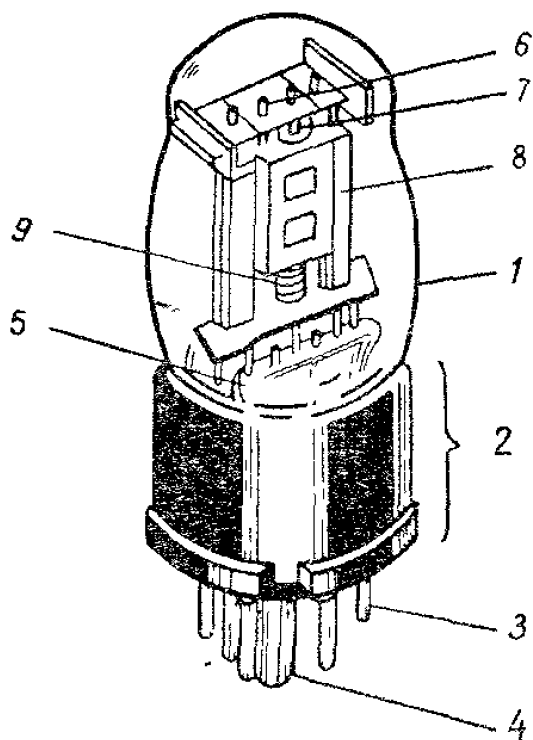
## § 6. Вакуумдық триодтар

Американдық Ли де Форест 1906 жылы үш электродты лампы жасады. «Аудион» деп аталған бұл лампы үшін оған 1907 жылы патент берілді.

112. Қазіргі кезде вакуумдық триодтар (70-сурет) жоғары жиілікті тербелістерді күшейту және генерациялау үшін кеңінен қолданылуда. Әлдеқайда жетілдірілген лампылардың (тетрод пен пентодтар) пайда болуына қарамастан, радиотехниканың қайсыбір салаларында триодтар таптырмайтын прибор болып шықты. Мысалы, өте қуатты тербелістерді генерациялау үшін хабарлаушы тетіктерде арнаулы қуатты генераторлық триодтар қолданылады (70,а; 70,б; 70,в-суреттер).

Қабылдағыштар мен телевизорларда триодтар гетеродиндер (жоғары жиілікті тербелістердің шағын қуатты генераторлары) ретінде және төменгі жиілікті кернеуді күшейту үшін пайдаланылады.

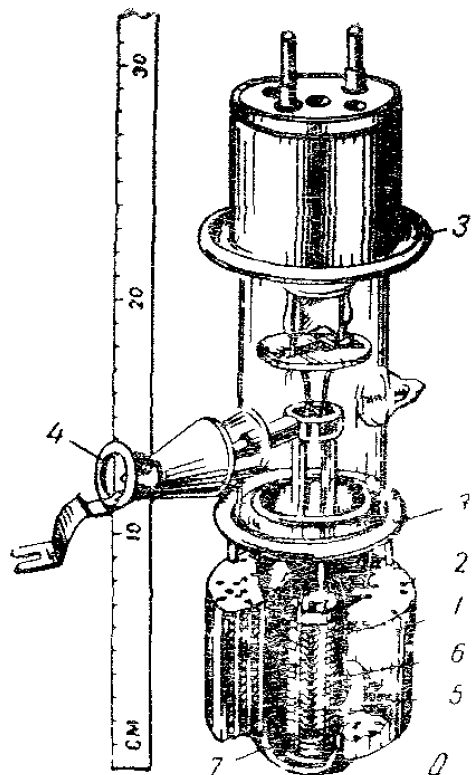
Сондай-ақ триодтар радиолокацияда, радионавигацияда, радиоастрономияда, әр түрлі арнаулы импульстық схемаларда, кернеу мен ток импульстарын қалыптастыру тізбектерінде, сондай-ақ өлшеу техникасында, мысалы, дәлдігі



70-сурет. Триодтың құрылысы:

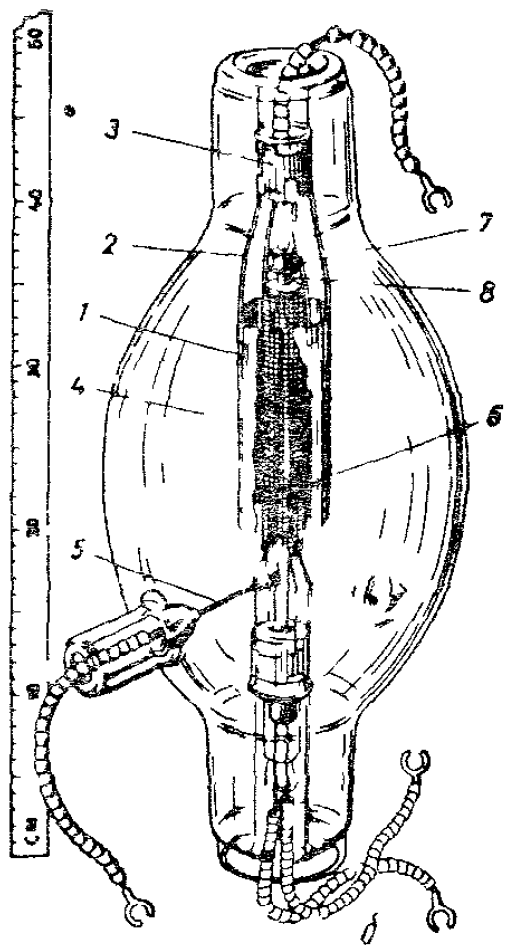
1 — баллон; 2 — цоколь; 3 — контакттік сирақтар (штырьлар); 4 — кілт; 5 — тұғыр; 6 — бекітетін детальдар; 7 — катод; 8 — анод; 9 — басқарушы тор





70,а-сурет Конвекциялы суытқышы бар үш электродты лампы

1 — радиатор 2 — радиатордың ауа айдап кіргізетін тесігі 3 — лампының бейнесін көмескілейтін қорғаушы сақиналар 4 — тордың қорғаушы сақинасы 5 — спираль катод 6 — тор 7 — анод радиатормен (1) байланыстырылған анод



70,б сурет ГК 3000 типті генераторлық лампы

1 — анод 2 — анодты ұстап тұратын стерженьдер 3 — стерженьдерді (2) лампының баллонымен бекітіп тұратын серіппелі тостағанша 4 — тор 5 — тордың шығысы 6 — катод 7 — катодты тартып тұратын серіппе 8 — серіппе (7) мен металл табақшаның арасындағы изолятор

жоғары класты лампылы вольт-метр-приборларда, қолданылады

Ең қарапайым вакуумдық триодтардың біреуінің құрылысы 70, а, 70, б, 70, в суреттерде көрсетілген. Оның диодтан айырмашылығы — басқарушы торының барлығы. Лампылардың атқаратын қызметіне қарай катодтары тікелей және жа-

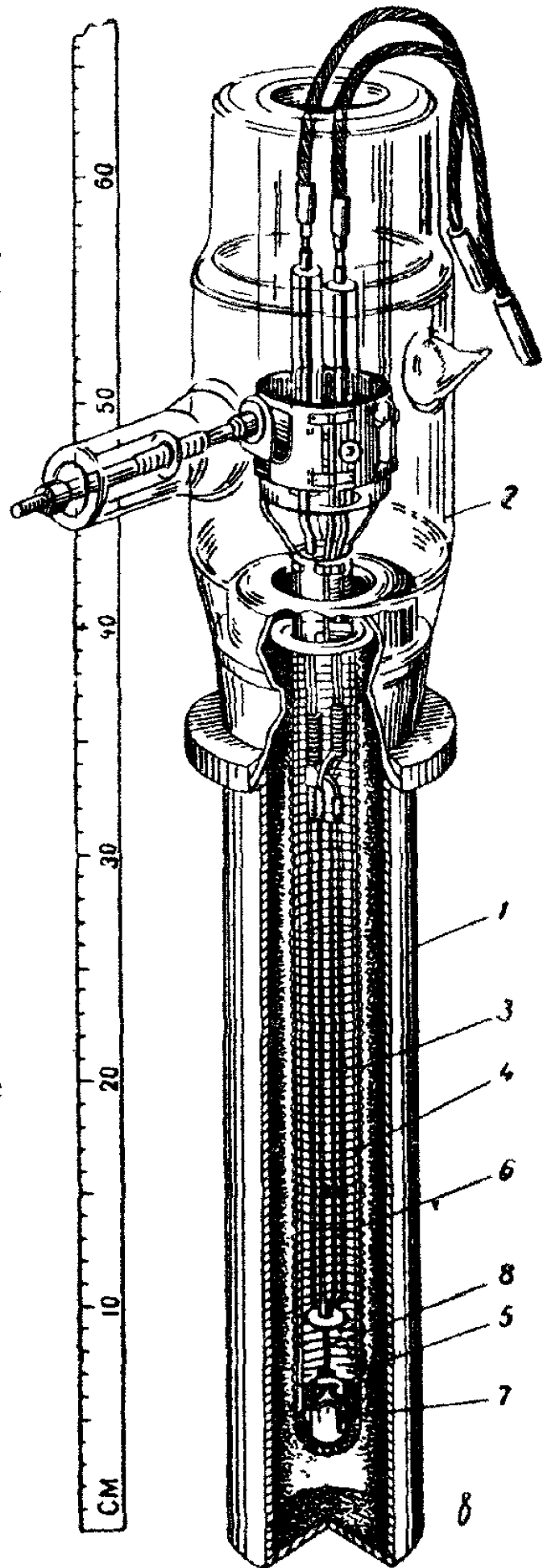
нама қыздырылатын болып келеді. Триодтың екі негізгі жұмыстық режимі болады: жұмыстық режимі (немесе лампының анодтық тізбегінде жүктік резистордың болуына (71-сурет) қарай жұмыс режимі) және лампының жүктік резисторы жоқ кезіндегі статикалық режимі. Статикалық режимде

$$U_a = E_a \quad (33)$$

және жұмыстық режимде

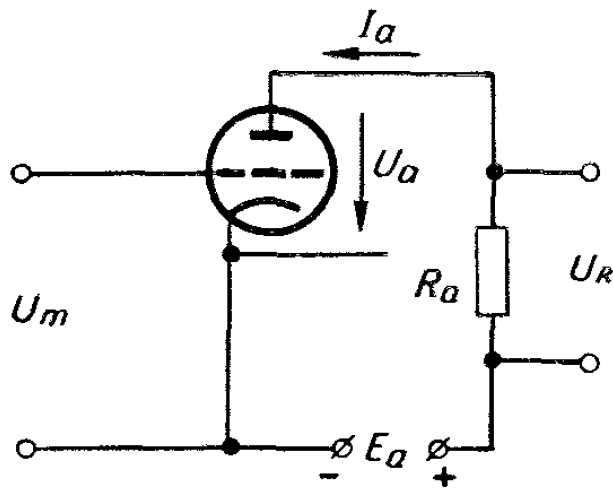
$$U_a = E_a - I_a R_a. \quad (34)$$

II тарауда айтылғандай, лампының анодтық тогына торлық және анодтық кернеу де әсер етеді. Анодтық токтың торлық және



70,в-сурет.

1 — анод, 2 — шыны баллон, 3 — тор, 4 — тор оралған траверсалар, 5 — катодты торға қарағанда бір келкі ұстап тұратын изолятор, 6 — катод, 7 — центрлеуші стерженьнің (8) ұшы орын ауыстырып тұратын изолятор



71-сурет. Жұмыс режиміндегі триод.

анодтық кернеуге тәуелділігін көрсететін шамалар **триодтың параметрлері** деп аталады. Олардың ішіндегі негізгілері: характеристиканың тіктігі, айнымалы токқа жасалатын ішкі кедергі, күшейту коэффициенті және өтімділік.

**Күшейту коэффициенті:**

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_T}, \quad (I_a = \text{const} \text{ болғанда}). \quad (35)$$

Бұл — атаусыз сан.

**Күшейту коэффициенті** анодтық токқа торлық кернеудің өзгеруі анодтық кернеудің өзгеруіне қарағанда, неше есе күштірек әсер ететінін көрсетеді. Әр түрлі триодтарда, олардың конструкциясына қарай, күшейту коэффициентінің шамасы 4-тен 100-ге дейін болады.

**Характеристиканың тіктігі** анодтық кернеу өзгермей, торлық кернеудің өзгеруі бір вольтқа тең болғанда лампының анодтық тогы қаншалықты өзгеретінін көрсетеді:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_T}, \quad (U_a = \text{const} \text{ болғанда}). \quad (36)$$

Триодтардың көпшілігі үшін  $S = (1 \div 20) \text{ ма/в}$ .

**Ішкі кедергі**

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}, \quad (U_T = \text{const.} \text{ болғанда}). \quad (37)$$

Бұл шама триодтарда бірнеше жүздеген және мыңдаған омға жетеді. Бұл параметрлердің бәрі де мына тәуелділікпен байланысты екенін байқау қиын емес:

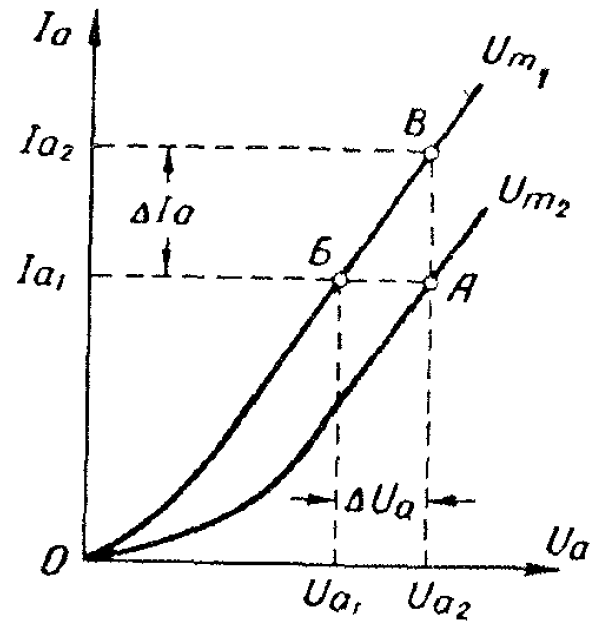
$$\mu = SR_i. \quad (38)$$

Күшейту коэффициентіне кері шама лампының өтімділігі деп аталады. Ол:

$$D = \frac{1}{\mu}. \quad (39)$$

Сөйтіп, өтімділікті анодтық токты бірдей өзгеріске келтіретін торлық кернеудің өзгеруінің ( $\Delta U_T$ ) анодтық кернеудің өзгеруіне ( $\Delta U_a$ ) қатынасы ретінде анықтауға болады. Қазіргі кездегі триодтарда  $D = (0,25 \div 0,01)$ .

**113.** Триод параметрлерін бірнеше анодтық немесе анодты-торлық характеристикалар тобы (үйірі) негізінде графикпен анықтауға болады. 72-суретте әр түрлі екі торлық кернеу кезінде алынған екі анодтық характеристика көрсетілген. Олардың біреуінің түзу сызықты участогынан А нүктесін белгілеп, ол арқылы абсцисса мен ордината осьтеріне параллель түзу жүргіземіз. Сонда  $ADB$  характеристикалық үшбұрыш аламыз. Осы үшбұрыш арқылы лампының параметрлерін анықтауға болады:



72-сурет. Триодтың параметрлерін графикпен анықтау.

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_T} = \frac{U_{a2} - U_{a1}}{U_{T1} - U_{T2}},$$

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_T} = \frac{I_{a2} - I_{a1}}{U_{T1} - U_{T2}},$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{U_{a2} - U_{a1}}{I_{a2} - I_{a1}}.$$

**114.** Вакуумдық триодтар да диодтар сияқты маркірленеді, бірақ белгілеудің екінші элементі С (триод) немесе Н (қос триод) әріптері болып келеді. Бірнеше жылдан бері триодтардың тіктігін арттыру жөнінде жұмыстар жүргізіліп келді. Өйткені лампының күшейткіш қабілеті, сондай-ақ телевидениеде, радиолокацияда, автоматикада және басқа мақсаттар үшін қолданылатын әр түрлі электрлік импульстарды аз бұрмалап күшейту мүмкіндігі оның характеристикасының тіктігіне байланысты. Бұл сияқты тіктігі арттырылған лампыларға тіктігі 20 *ма/в* шамасындағы 6С3П және 6С4П мен тіктігі 45 *ма/в* 6С15П триодтары жатады.

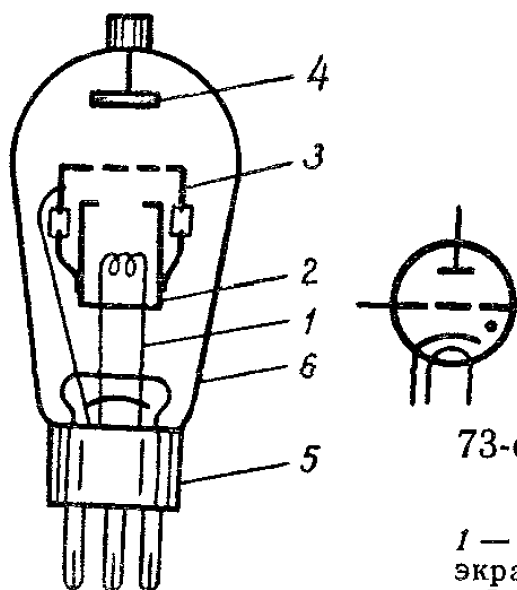
Лампылар тағы да бірнеше параметрлерімен: қалыпты қоректендіруші кернеуінің шамасымен, эмиссия тогымен, қызмет ету мерзімімен, анодта шығындалатын максимал рұқсат етілетін қуатымен, электродтар аралық сыйымдылықтың мәнімен және басқа мәліметтермен сипатталады.

## § 7. Тиратрондар

**115. Тиратрон** — қыздырылатын катодты, анодты және басқарушы торлы газ толтырылған триод.

Доғалық разрядты тиратронның қыздырылатын катоды болады, ал басқарушы торы тесіктері бар металл диск түрінде жасалады (73-сурет).

Тиратронның жұмыс істеу принципі жағынан вакуумдық триодтардан бір-ға-



73-сурет. Тиратронның құрылысы:

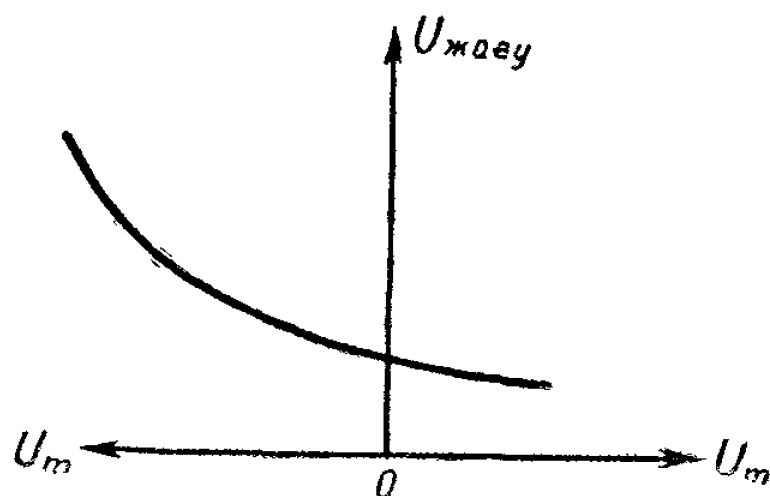
1 — катод; 2 — жылулық экран; 3 — тор; 4 — анод, 5 — цоколь, 6 — баллон

на өзгешелігі бар. Ол — тиратрон торындағы кернеу, катод пен анод арасында газ разряды пайда болғаннан кейін, анодтық токты басқармайтындығы.

Алайда, тордағы теріс кернеудің шамасын өзгерте отырып, тиратронның жағу кезеңін басқаруға болады. Бұл заңдылық тиратронның іске қосылу характеристикасын көрсетеді (74-сурет).

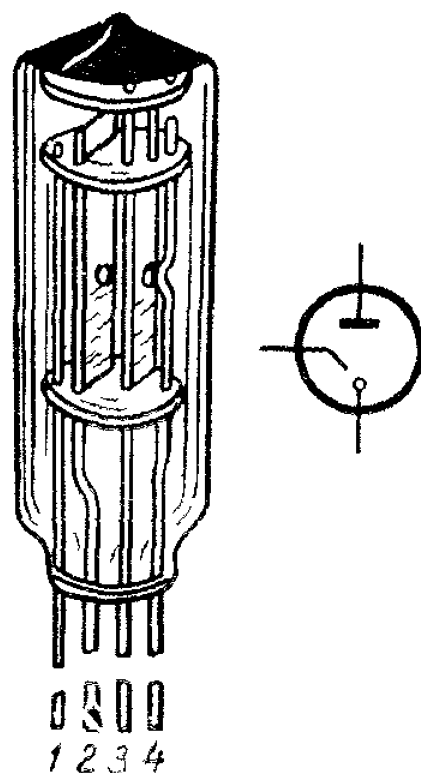
Сөйтіп, тиратронда тор тек анодтық токты қосу қызметін ғана атқарады. Сондықтан тиратрондар мол токты тізбектерді қосатын шағын қуатты релелер ретінде қолданылады. Тиратронды сөндіру үшін анодтық тізбекті ағыту керек немесе анодтағы кернеуді төмендету қажет.

116. Солғын разрядты тиратронда (суық катодты) анод пен катод арасына, іске қосатын анодтың немесе жандыру электродының торы деп аталатын, үшінші электрод қойылады (75-сурет). Электродтар арасындағы қашықтық және газ қысымы катод пен тор арасындағы разряд, анод пен катод арасындағы раз-



74-сурет. Тиратронды іске қосу характеристикасы.

75-сурет. Суық катодты тиратрон.  
1 — анод; 2 — екінші тор; 3 — бірінші тор;  
4 — катод



рядқа қарағанда, әлдеқайда төмен кернеуде пайда болатындай етіп, ал анодтың жеткілікті кернеуі болған кезде разряд соған ауысатындай етіп таңдап алынған.

Суық катодты тиратрондардың анодтық тогы доғалық разрядты тиратрондардың анодтық тогына қарағанда, әжептәуір аз, бірақ олар үнемді, қыздыру қыл сымын қоректендіру үшін электр энергиясын шығындауды керек етпейді.

Тиратронның жағу кезеңін өзгерте отырып, түзетілген токтың орташа мәнін кең аумақта реттеуге болады. Бұл тиратрондарды түзеткіш тетіктерде және түрлі өндірістік процестерді реттеуші автоматика схемаларында, сондай-ақ ара тәріздес немесе тік бұрыш формалы электр импульстары генераторларында пайдалануға мүмкіндік береді.

Қуаттары әр түрлі (10 вт-тан ондаған киловатқа дейін) және конструкциясы әр түрлі: шыны және металл баллонды инертті газдармен, мысалы, аргонмен немесе сынап буымен, толтырылған тиратрондар шығарылады.

Тиратрондарда газдың иондануын жойып, разрядты тоқтату үшін біраз уақыт керектігінен туатын инерттілік оларды өте жоғары жиілікте қолдануға мүмкіндік бермейді.

Тиратрондардың маркирленуі мынадай элементтерден тұрады: бірінші Т әрпі тиратрон дегенді, екінші «Г» немесе «Х» әріптері газ толтырылғандығын немесе суық катодты екендігін, үшінші әріп «И» импульстылығын, бүтін сан прибордың рет санын көрсетеді, одан кейінгі бірінші ондық сан анодтық ең үлкен орташа токты (ампермен) көрсетеді, ал екінші ондық сан кері кернеу амплитудасының шамасын киловольтпен көрсетеді.

## § 8. Транзисторлар

**117. Транзистор** деп атқаратын қызметі мен характеристикасы электрондық күшейткіш лампыға ұқсас шала өткізгішті үш электродты приборды айтады.

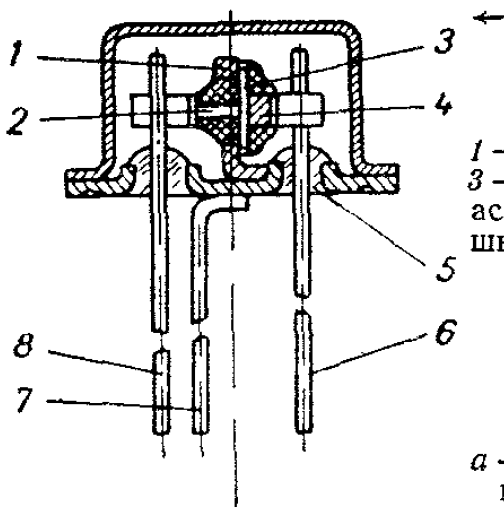
Қазіргі кезде радиоқабылдағыштардың, сондай-ақ ғылыми зерттеулерде және халық шаруашылығында кеңінен қолданылып жүрген басқа да радиотехникалық тетіктердің барлық электрондық лампыларының функцияларын айтарлықтай атқара алатын транзисторлардың көптеген конструкциялары бар.

Транзисторлардың электрондық лампылардан негізгі артықшылығы: олардың өте үнемділігі (п. э. к. өте жоғары болуы арқасында қоректендіру тізбегінде қуаттың аз шығындалуы), қызмет ету мерзімінің ұзақтығы (қызмет ету мерзімі электрондық лампылардан ондаған есе артық), электрондық лампыларға қарағанда әлдеқайда кішкене (шағын) транзисторлардың кейбір түрлерінің көлденең қимасы бірнеше миллиметр ғана болады. Транзисторлардың осы ерекшеліктері оларды электрондық лампылардың орнына қолданғанда радиоаппаратуралардың аумағын кішірейту және эксплуатациялық шығынды кеміту, оның жұмысының сенімділігін арттыруда зор эффекті береді.

Алайда, транзисторлар әзірше электрондық лампыларды толық алмастыра алмайды. Өйткені, біріншіден, олар жиілігі өте жоғары тізбектер үшін жарамсыз, екіншіден, тым әлсіз сигналдарды аса жоғары күшейткен кезде, электрондық лампыларға қарағанда, бұлардың өзіндік шуы әлдеқайда күшті болады.

Қазіргі кезде тиянақты жұмыс істемейтін болғандықтан, нүктелік транзисторлар шығарылмай, тек жазық транзисторлар ғана жасалып шығарылады. Алғашқы жазық кристалл триодтардың жұмыс теориясы мен конструкциясын 1949 жылы Америка ғалымы *В. Шокли* жасады. Шала өткізгішті приборлардың



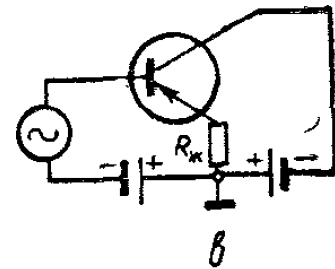
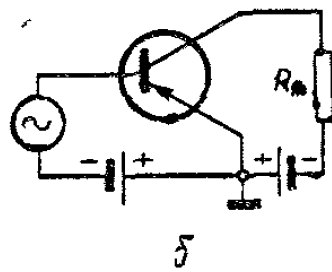
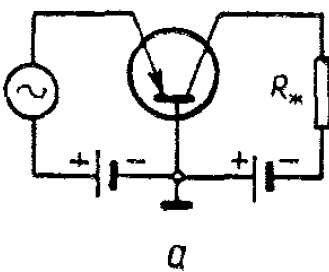


76-сурет. Жазық транзистордың құрылысы:

1 — эмиттерлік аспа; 2 — кристалл ұстағыш; 3 — шала өткізгіш пластина; 4 — коллекторлық аспа; 5 — өтпе изолятор; 6 — коллектордың шығысы; 7 — базаның шығысы; 8 — эмиттердің шығысы.

77-сурет. Транзисторды қосу схемасы:

а — ортақ базамен (ОБ); б — ортақ эмиттермен (ОЭ); в — ортақ коллектормен (ОК).



физикасы мен техникасын дамытуда А. Ф. Иоффе, Н. Д. Папалекси, Б. И. Давыдов, И. Е. Тамм сияқты совет ғалымдарының сіңірген еңбектері аса зор.

118. Транзистордың құрылысы 76-суретте көрсетілген. Вакуум триодтағы сияқты эмиттер — катодтың, база — тордың, коллектор — анодтың ролін атқарады. Транзисторды қосудың бір-бірінен өзгеше негізгі үш схемасы бар (77-сурет), олар: ортақ базалы (ОБ), ортақ эмиттерлі (ОЭ) және ортақ коллекторлы (ОК). Бұл схемалардың әрқайсысы үшін негізгілері кірістік токтың кірістік кернеуге және шығыстағы токтың триодтың шығысындағы қысқыштардағы кернеуге тәуелділігін көрсететін кірістік және шығыстық характеристикалары болып табылады. Мысалы, ОБ схемасы үшін кірістік характеристика коллектор-база кернеуі өзгермей тұрғанда, эмиттер тогының эмиттер база кернеуіне тәуелділік графигі болып саналады; яғни:

$$I_{\text{э}} = f(U_{\text{эб}}), (U_{\text{кб}} = \text{const} \text{ болғанда}),$$

ал шығыстық характеристика — бұл мына тәуелділік графигі:

$$I_{\text{к}} = f(U_{\text{кб}}), (I_{\text{э}} = \text{const} \text{ болғанда}),$$

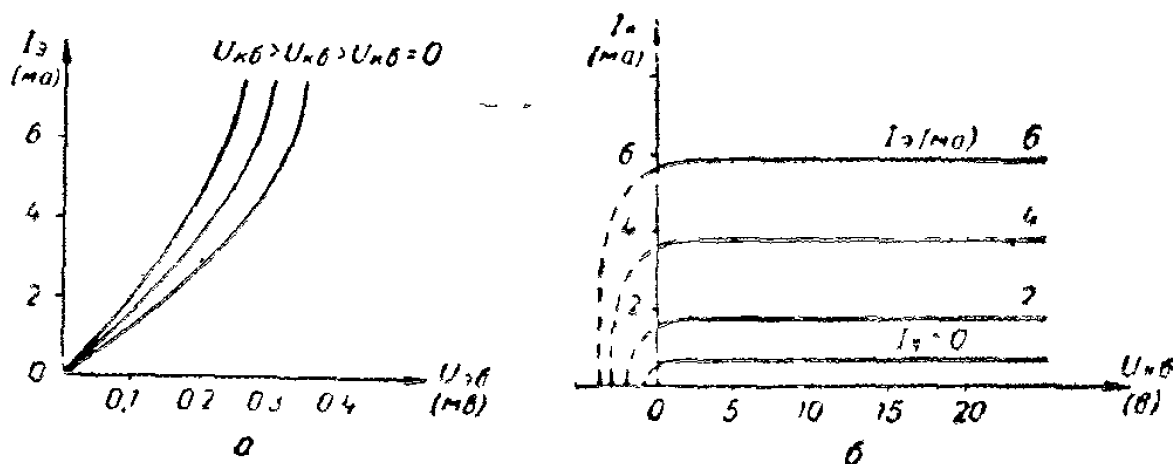
78-суретте ОБ схемасы үшін кірістік және шығыстық характеристикалар тобы көрсетілген. 78,а-суретте көрсетілгендей,  $U_{\text{кб}} = 0$  болғанда, кірістік характеристика қоректендіруші ток көзін тура қосқандағы  $p-n$  ауысудың қалыпты вольт-амперлік характеристикасы ретінде есептеледі, коллектор-база кернеуі артқанда характеристикалар жоғары өрмелейді. Шығыстық характеристикалар тобы бойынша коллектор тогы эмиттер тогына өте байланысты да, ал оның коллектор-база кернеуіне байланыстылығы аз деп қорытуға болады (78, б-сурет).

119. Транзисторлар ток бойынша статикалық күшейту коэффициентімен сипатталады. ОБ схемасы үшін бұл коэффициент мынаған тең:

$$\alpha = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{э}}}, (U_{\text{кб}} = \text{const} \text{ болғанда}), \quad (40)$$

ал ОЭ схемасы үшін

$$U_{\text{кэ}} = \text{const} \text{ болғанда}, \quad \beta = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б.э}}} \quad (41)$$



78-сурет. Транзистордың кіріс (а) және шығыс (б) характеристикалары.

Бұл екі шама өз ара мынадай тәуелділікпен байланысқан:

$$\beta = \frac{\alpha}{\alpha - 1}.$$

**Динамикалық параметрлер** айнымалы токтар және кернеулер арасындағы байланысты тағайындайды.

**Ток бойынша күшейту коэффициенті**

$$k_i = \frac{I_{\text{шығ}}}{I_{\text{кір}}}. \quad (42,а)$$

**Кернеу бойынша күшейту коэффициенті**

$$k_u = \frac{U_{\text{шығ}}}{U_{\text{кір}}}. \quad (42,ә)$$

**Қуат бойынша күшейту коэффициенті**

$$k_p = \frac{P_{\text{шығ}}}{P_{\text{кір}}} = k_i \cdot k_u. \quad (42,б)$$

Транзистор параметрлеріне бұларға қоса кіріс және шығыс кедергілер, коллекторда шашырау қуаты, жұмысшы жиіліктердің интервалы, меншікті сыйымдылық жатады.

Эмиттерлік ауысу кедергісі ( $r_e$ ), коллекторлық ауысу кедергісі ( $r_k$ ) және базаның кедергісі ( $r_b$ ) транзистордың **бірінші реттік параметрлері** деп аталады. **Екінші реттік параметрлердің** бірнеше системалары бар.

Ең көп тарағаны **гибридтік параметрлер** деп аталатындары, олар: кірістік кедергі үшін

$$U_2 = \text{const} \quad \text{болғанда, } h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1};$$

кернеу бойынша кері байланыс коэффициенті ү

$$I_1 = \text{const} \quad \text{болғанда, } h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2};$$

ток бойынша күшейту коэффициенті үшін

$$U_2 = \text{const} \text{ болғанда, } h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1};$$

шығыстық өткізгіштік үшін

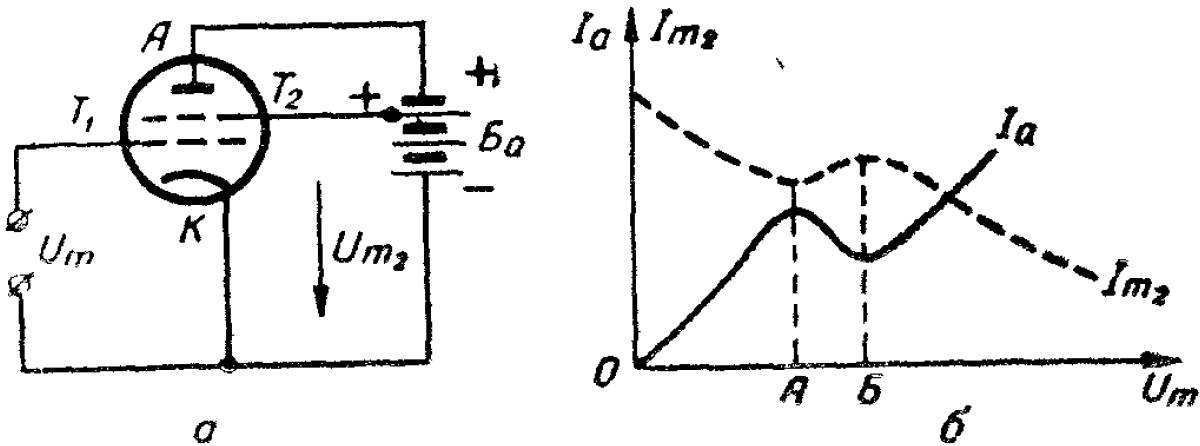
$$I_1 = \text{const} \text{ болғанда, } h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2}.$$

Транзисторлар шала өткізгішті диодтар сияқты маркирленеді, тек белгілеудің екінші элементіне Т (транзистор) әрпі жазылады.

### § 9. Көп электродты және ұластырылған электрондық лампылар

**120.** Көп электродты электрондық лампылар деп катодтан, басқарушы тордан және анодтан басқа, қосымша электродтары, әдетте торлары бар лампыларды айтады.

Вакуумдық триодтардың электрод аралық сыйымдылығы едәуір болғандықтан күшейту коэффициенті аз болады. Олардың бұл кемшіліктерін жою үшін басқарушы тор мен анод аралығына қосымша — экрандық тор қойылады (79-сурет). Бұл тор анодтық кернеудің анодтық токқа әсерін әлсіретеді, лампының



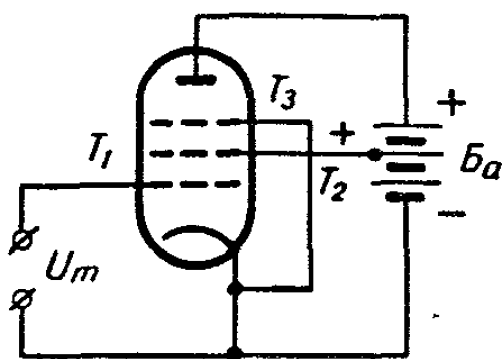
79-сурет.

а — тетродты қосу схемасы, б — анодтық және экрандық токтардың графиктері

өтімділігі азаяды, ал күшейту коэффициенті (және ішкі кедергі) артады. Лампының электродтар аралық сыйымдылығы азаяды, өйткені «басқарушы тор — анод» участогында бір-біріне тізбектей жалғанған екі конденсатор («басқарушы тор — экрандық тор» және «экрандық тор — анод») тұрғандай болып шығады.

Алайда, мұндай төрт электродты лампыларда (тетродта) анодтық кернеудің кейбір мәндерінде **динатрондық эффект** деп аталатын ұнамсыз құбылыс байқалады. Ол құбылыстың мәні мынада: электрондар анодқа соғылып, одан екінші реттік электрондарды (екінші реттік эмиссия) жұлып шығарады, ал олар оң зарядталған экрандық торға тартылып, экрандық токты арттырады, ал оның есебіне анодтық ток кемиді (79,б-суретте АБ участогы).

**121.** Екінші реттік электрондарды кері анодқа теуіп тастау үшін және олардың экрандық торға жолын кесу үшін анод пен экрандық тор арасына катодпен жалғастырылған үшінші тор — **динатронға қарсы тор** орналастырылады (80-сурет). Мұндай бес



80-сурет. Пентодты қосу.

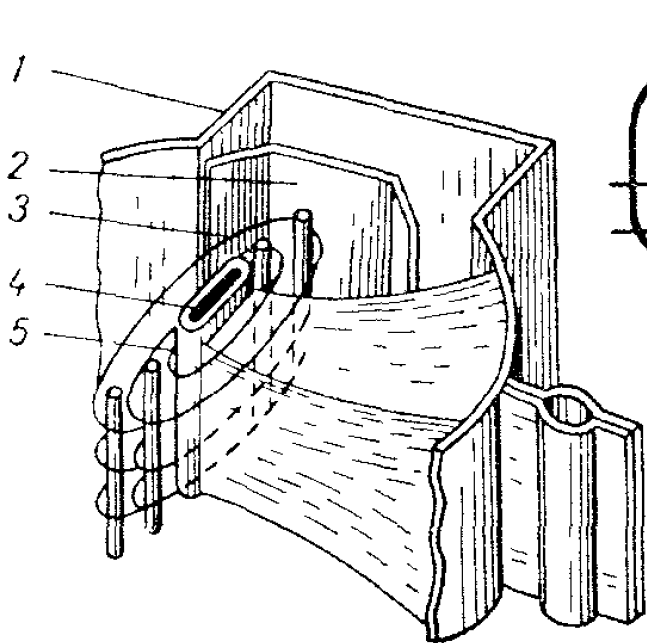
электродты лампы **пентод** деп аталады. Үшінші тор да экрандаушы әрекет ететіндіктен, тетродқа қарағанда пентодтың күшейту коэффициенті көп те, ал электрод аралық сыйымдылығы аз. Пентодтың күшейту коэффициенті бірнеше мыңға жетеді, триодта бұл 100-ден аспайды, тетродтарда не бары бірнеше жүзге ғана жетеді; пентодтың ішкі кедергісі миллион омға дейін жетеді.

**122.** Динатрондық эффектiнi басқа жолмен де жоюға болады. Сәулелік тетродтарда катодпен жалғасқан арнаулы сәуле шығаратын пластиналар болады, сонымен бірге басқарушы және эк-

рандық торлар бір-біріне қарама-қарсы орналасқан. Осының нәтижесінде электрондар анодқа тығыз ағынмен ұшады, ал олардың кеңістіктік теріс заряды анодтан жұлып шығарылған екінші реттік электрондарды анодқа қайыра теуіп тастайды (81-сурет).

123. Радио тетіктерде арнаулы мақсат үшін басқарушы екі торы бар көп торлы лампылар қолданылады. Мұндай лампыларға гексодтар (алты электродты лампылар) және гектодтар (жеті электродты лампылар) жатады.

Бір баллонға екі, үш және төрт лампылар үйлестірілген, ұластырылған лампылар да кең таралып жүр (82-сурет). Көп электродты және ұластырылған электрондық лампыларды қолдана отырып, радиотех-

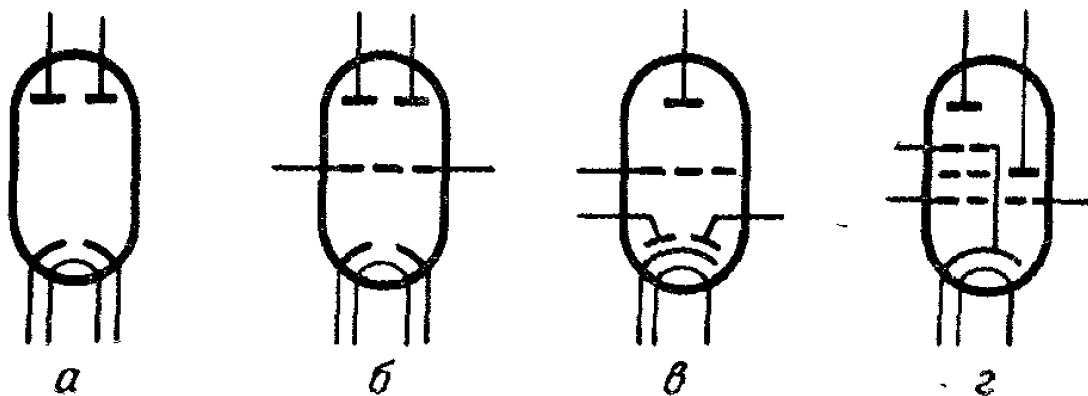


81-сурет. Сәулелік тетрод:

1 — анод; 2 — сәуле түзетін пластина; 3 — экрандық тор; 4 — катод; 5 — басқарушы тор.

82-сурет. Ұластырылған лампы:

а — қос диод; б — қос триод; в — диод-триод; г — триод-пентод.

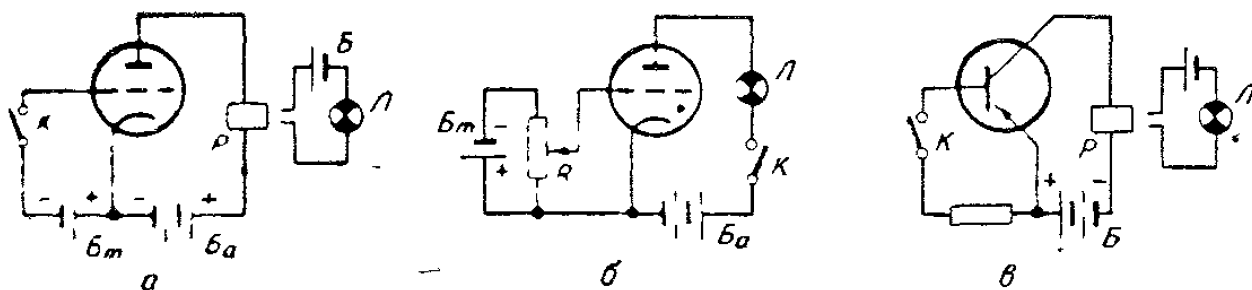


никалық тетіктерді әжептәуір шағын етіп жасауға және олардың сапалық характеристикаларын жақсартуға болады.

## § 10. Реле

124. Электрондық приборлар сан алуан электр тізбектерін автоматты түрде қосатын, ажырататын немесе ажыратып-қосатын әр түрлі реле-қондырғыларда кеңінен қолданылады. 83-суретте реленің қарапайым схемасы келтірілген. 83,*а*-суретте көрсетілген вакуумдық триодты реле былай жұмыс істейді. Қалыпты жағдайда лампының торына лампы жабық болатындай теріс кернеу беріледі. Егер *K* кілтті ажыратсақ, онда лампының анодтық тізбегінде ток пайда болады да, *P* реле іске қосылады, сонда осы схемада қызмет атқарушы механизм ретінде пайдаланылған *L* лампысы жанады.

Тиратронды реледе (83,*б*-сурет) *L* лампысы тікелей анодтық тізбекке қосылған, өйткені тиратрондық анодтық ток вакуумдық триодқа қарағанда әлдеқайда көп. Тиратронды жағу *R* потенциометрдің көмегімен орындалады. Оны *K* кілтінің көмегімен анодтық тізбекті үзу немесе анодтық кернеуді барынша төмендету арқылы сөндіруге болады. 83,*б*-суретте транзисторлы реле схемасы көрсетілген. Реле *K* кнопкасын басқанда іске қосылады.



83-сурет. Реле схемалары:

*а* — электронды триодта; *б* — тиратронда; *в* — транзисторда.

## § 11. Күшейткіштер

125. Күшейткіш деп электрондық лампылардың немесе транзисторлардың көмегімен басқа ток көзі энергиясы есебінен электр кернеулерін және токтарды күшейтетін тетіктерді айтады.

Күшейтілетін тербелістердің жиілігіне байланысты күшейткіштер мынадай түрлерге бөлінеді:

1. Радио жиілігі диапазонындағы тербелістерді күшейтетін, яғни радиосигналдарды немесе аралық жиілік тербелісін тікелей күшейтетін, жоғары жиілікті күшейткіштер.

2. Тербелістерді ең төменгіден бірнеше мегагерцке дейінгі кең белдеуде күшейтетін бейне күшейткіштер немесе импульстық күшейткіштер (мысалы, телевизиялық қабылдағыштардағы кескін сигналдарын күшейткіштер);

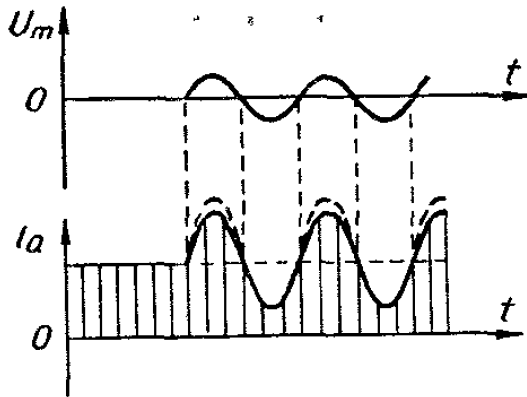
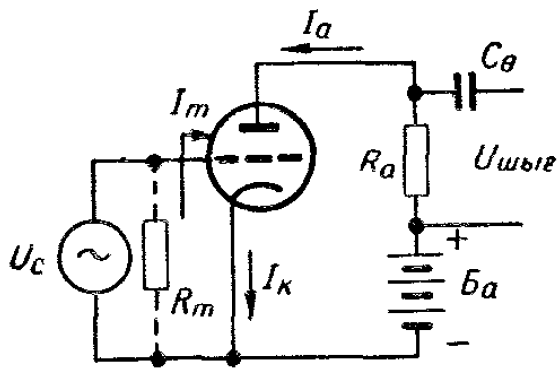
3. Дыбыс жиілігі тербелістерін күшейтетін төмен жиілікті күшейткіштер. Бұл күшейткіштер кез келген таратқыш және қабылдағыш радиоцентрлерінің, телецентрдің, радиоқабылдағыштың, телевизордың, магнитофонның, радиограммафонның және басқа дыбысты қайыра шығаратын және дыбысты жазып алатын қондырғылардың құрамды бөлігі болып табылады.

4. Кернеулердің және токтардың қандай да болса баяу өзгерістерін күшейтуге арналған тұрақты ток күшейткіштері.

Электрондық күшейткіштер вакуумдық, электрондық лампыларда немесе транзисторларда құрастырылады. Бұл мақсат үшін тиратрондар жарамсыз, өйткені бұл лампылардың анодтық тогының шамасын тордың көмегімен басқаруға болмайды.

126. Вакуумдық триодтың күшейткіш әрекетін қарастырайық (84-сурет). Торлық кернеу жоқ кезде лампы арқылы тұрақты анодтық ток жүреді. Енді торға айнымалы кернеу ( $U_T$ ) берейік. Оң жарты периодта анодтық ток кенет артады, ал теріс жарты пе-





84-сурет. Триодтың күшейткіштік әрекеті.

риодта кемиді. Торлық кернеудің аздаған өзгерісінің өзі анодтық токты едәуір өзгертетінін еске алайық. Лампының анодтық тізбегінен толықсыма анодтық ток өтеді, ал ол жүктік резисторда ( $R_a$ ) кернеуді төмендетеді. Бұл кернеудің айнымалы құраушысын бөліп алу үшін тізбекке өткінші конденсатор ( $C_\theta$ ) қосады. Айнымалы кернеудің амплитудасы ( $U_{шығ}$ ) кірістік сигнал амплитудасынан ( $U_c$ ) әлдеқайда көп және лампының күшейту коэффициентімен анықталады.

**Күшейткіштің күшейту коэффициенті деп**

$$k = \frac{U_{шығ}}{U_{кір}} \quad (43)$$

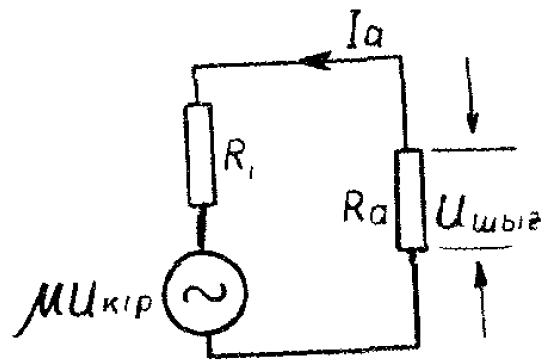
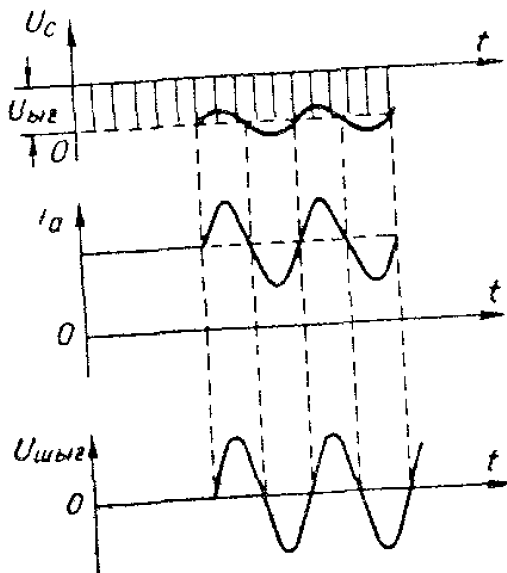
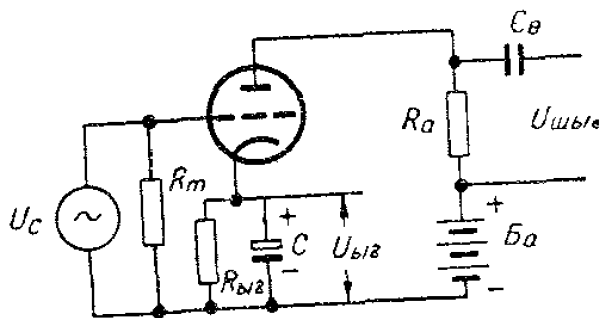
шамасын айтады.

127. Күшейткіштің бұл қарастырылған схемасының елеулі екі кемшілігі бар. Оның бірі — анодқа қарай ұшқан электрондардың қайсыбірінің торда ұсталып қалатындығы. Егер кіріс сигналдың ішкі кедергісі өте көп болса, онда торға жиналған электрондар соншалықты мол теріс кеңістіктік заряд туғызуы мүмкін, тіпті лампы жабық болуы да мүмкін. Сондықтан электрондар тордан катодқа қайыра ауысуы үшін торлық тізбекке арнаулы резисторды — тордағы сейілу кедергісін ( $R_T$ ) қосады.

Екінші кемшілігі — торлық кернеудің оң жарты периодында, анодтық токтан басқа, торлық токтың түзілуінде; осының салдарынан анодтық токтың ай-

нымалы құраушысының амплитудасы теріс жарты периодтағыға қарағанда, оң жарты периодта аз болады (84-суреттегі төменгі графикті қараңыздар). Күшейтілетін сигнал қисығының формасының мұндай бұрмалануы **сызықтық емес бұрмалануы** деп аталады. Дыбыстық жиілікті күшейткіштерде репродуктордың қайыра шығаратын дыбысы қырылдап, анық болмай, дірілдеп естіледі. Сызықтық емес бұрмалануды болдырмау үшін торлық токтардың пайда болуына мүмкіндік бермеу қажет. Ал бұл торға теріс **торлық ығысу** деп аталатын тұрақты теріс кернеу беру арқылы орындалады (ығысу кернеуі ( $U_{ығ}$ ) 85-суретте жоғарғы графикте көрсетілген). Ығысу кернеуі күшейтілетін сигналдың амплитудасынан көп болуы керек.

Торлық ығысуды жеке батареядан (тағайындалған ығысу) алуға болады, ал ол былай да алынады: лампының катод тізбегіне ығысу резисторын ( $R_{ығ}$ ) жә-



86-сурет. Күшейткіш каскадтың эквиваленттік схемасы.

85-сурет. Теріс торлық ығысу.

не сыйымдылығы үлкен конденсатор ( $C$ ) қосады (85-сурет). Сонда анодтық токтың тұрақты құраушысы —  $R_{ығ}$  резисторы, ал айнымалы құраушысы —  $C$  конденсаторы арқылы өтеді. Тұрақты құраушы  $R_{ығ}$  резисторында  $U_{ығ}$  тұрақты кернеуін туғызатын болады, ал ол кернеу  $R_T$  резисторы арқылы өзінің теріс таңбасымен лампының торына беріледі. Мұндай теріс торлық ығысу **автоматты** деп аталады. Енді күшейтілетін сигналдың кернеуі бұрмаланбайды (87-суреттегі төменгі графикті қараңыздар).

128. Лампы  $U_{кiр}$  кернеуін  $\mu$  есе ұлғайтатын болғандықтан, оны шартты түрде э. қ. к.  $\mu U_{кiр}$ -ге тең және ішкі кедергісі  $R_i$  генератор деп қарастыруға болады. Онда 87-суреттегі схеманы 86-суретте көрсетілгендей эквивалентті схемамен алмастыруға болады. Ом заңы бойынша

$$I_a = \frac{\mu U_{кiр}}{R_i + R_a} = \frac{U_{шығ}}{R_a},$$

бұдан

$$\frac{\mu R_a}{R_i + R_a} = \frac{U_{шығ}}{U_{кiр}}.$$

Бұл өрнектің оң жақ бөлігі — күшейткіштің күшейту коэффициенті.

Сондықтан:

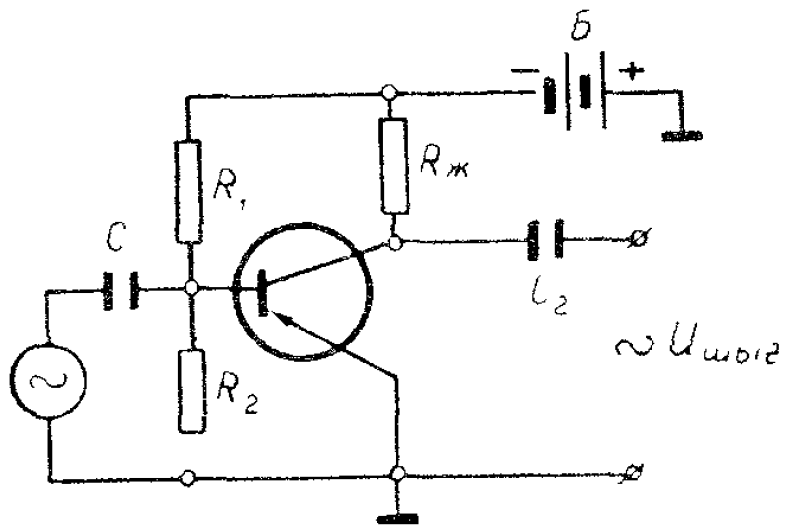
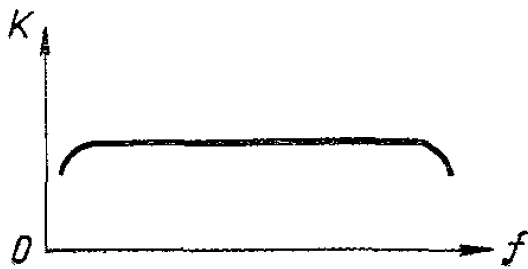
$$k = \frac{\mu R_a}{R_i + R_a}. \quad (44)*$$

Күшейту коэффициенті әр түрлі жиілікте қалай өзгертіндігін көрсететін график **күшейткіштің жиіліктік характеристикасы** деп аталады (87-сурет). Егер күшейткіш әр түрлі жиілікті бірдей етіп күшейтпейтін болса, онда оны **жиіліктік бұрмалау** енгізеді дейді.

---

\* 44-формула орта жиіліктер үшін дұрыс. Жоғары және төменгі жиіліктерге лампының электродтар аралық сыйымдылығы және  $C$  конденсаторының сыйымдылығы әсер етеді де, формула күрделенеді.

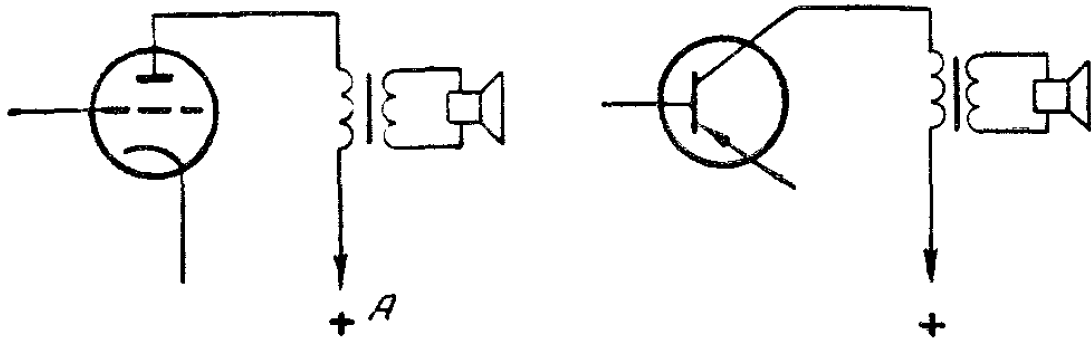
87-сурет Күшейткіштің жиілік характеристикасы



88-сурет. Транзисторлы күшейткіштің схемасы

**129.** Транзисторлы күшейткіштің схемасы (ортақ эмиттерлі схема) 88-суретте көрсетілген.  $R_1$  және  $R_2$  резисторлар коллектор батареясына параллель қосылған кернеулі бөлгіш болады. Ығысу кернеуі  $R_2$  резисторынан алынады. Егер күшейткіштің кірісіне айнымалы кернеу беретін болсақ, онда эмиттер тогы, демек, коллектор тогы да өзгертін болады және жүктік резисторға айнымалы кернеу бөлінеді.

**130.** Бұл қарастырылған схемаларда күшейткіштер активті кедергілермен ( $R_a, R_{ж}$ ) жүктенген, сондықтан мұндай күшейткіштер **реостаттық** деп аталады. Олар дыбыстық жиілікті күшейту үшін (50—100 гц тен 8000—10 000 гц-ке дейін) пайдаланылады. Қуатты күшейту үшін, шығыс трансформаторы бар репродуктормен қосылған, трансформаторлық күшейткіштер пайдаланылады (89-сурет). Трансформатор лампының ішкі кедергісі мен



89-сурет. Репродукторды қосу схемасы.

репродуктордың дыбыстық катушкасы кедергісін үйлестіру қызметін атқарады. Өйткені ток қабылдағыштың кедергісі қоректендіруші ток көзінің ішкі кедергісіне тең болғанда, ток ең үлкен шамасына жетеді.

### Трансформациялау коэффициенті

$$n = \frac{U_1}{U_2}.$$

Мұндағы  $U_1$  — трансформатордың бірінші реттік обмоткасының қысқыштарындағы кернеу, ал  $U_2$  — екінші реттік обмоткадағы кернеу. Ал трансформатордың п. э. к. 99% -ке жететіндіктен, қуатты  $P_1 = P_2$  деп есептеуге болады немесе

$$\frac{U_1^2}{R_1} = \frac{U_2^2}{R_2}.$$

Бұдан

$$n^2 = \frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Сөйтіп, бірінші реттік тізбек ретінде есептелетін дыбыстық катушканың кедергісі

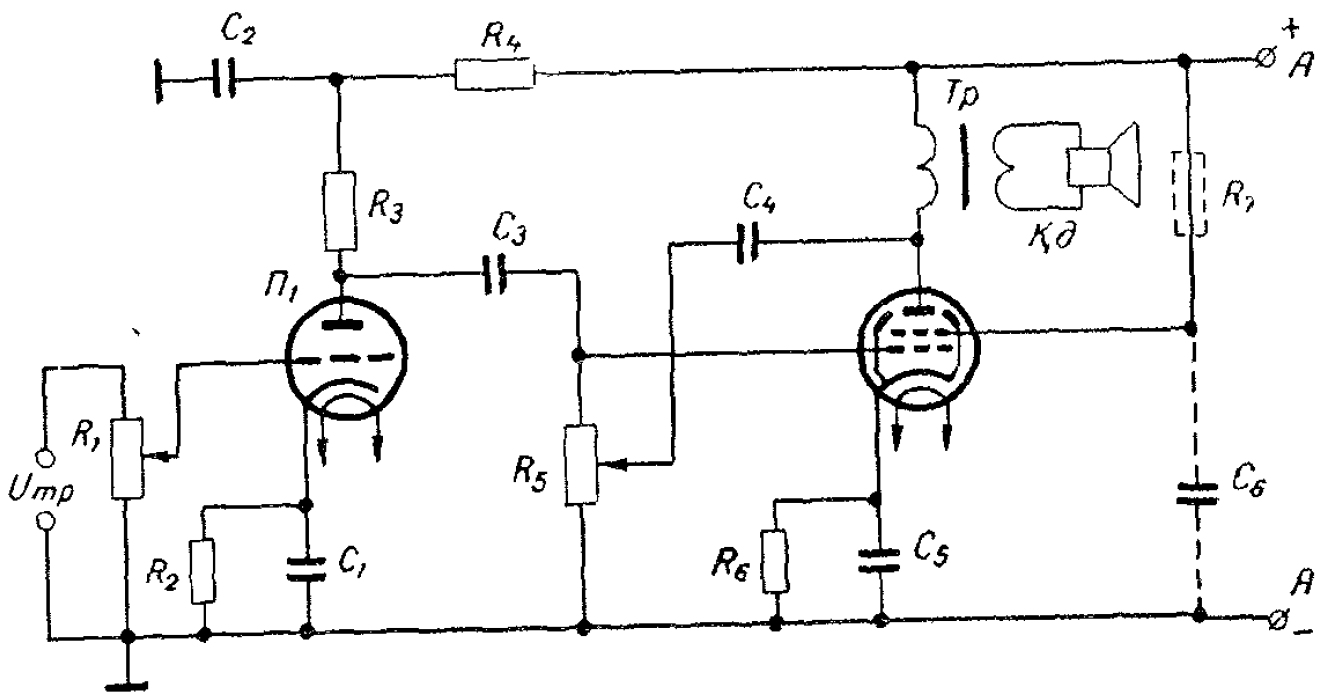
$$R_1 = n^2 R_2 \quad (45)$$

Демек, трансформациялаудың тиісті коэффициентін тандап алып, репродуктордың кедергісін лампының ішкі кедергісімен үйлестіруге болады.

Транзисторлы қалта радиоқабылдағыштарға күшейткіштің шығысына шығыстық трансформаторсыз-ақ қосуға болатын капсюльдер, мысалы, ДЭМ-4М, пайдаланылады, өйткені олардың кедергілері өте көп, ал көптеген қуатты транзисторлардың шығыстық кедергісі тым аз.

**131.** Мысал ретінде 90-суретте екі каскадты төменгі жиілікті күшейткіш келтірілген. **Каскад** деп электр тізбегімен қоса есептегендегі лампыны айтады. Каскад лампының торынан басталады да, келесі лампының торымен аяқталады. Суретте көрсетілген схемадағы  $R_1$  — потенциометр күшейтуді (қаттылықты) реттеуші, ал  $R_5$  — тонды реттеуші болып табылады. Бұл резисторлардың жұмыс принципін өздігінен талдап ұғыну қиын емес.  $R_4$ ,  $C_2$  ұялары күшейткіштің өздігінен қозуынан сақтандыратын босатушы фильтр.

Бұл күшейткіштің бірінші лампысы  $L_1$  кернеуді күшейткіш ролін, ал  $L_2$  лампы қуатты күшейткіш ролін атқарады.



90-сурет. Төмен жиілікті екі каскадты күшейткіш.

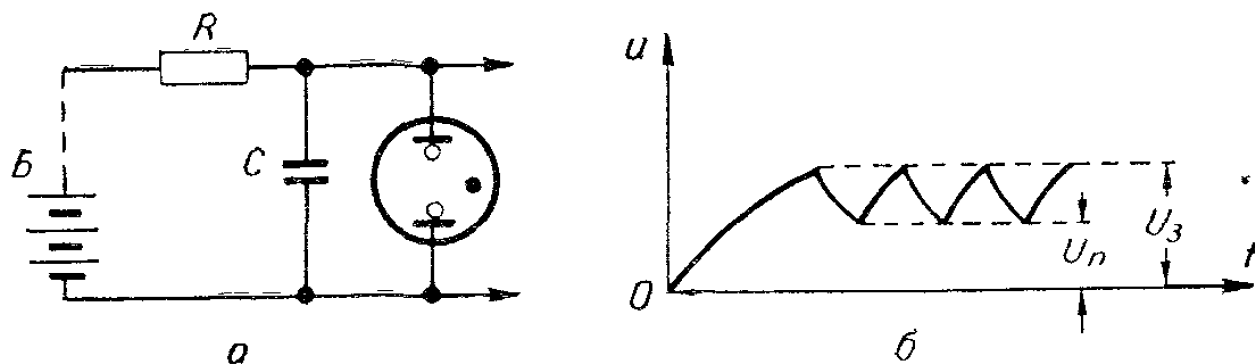
## § 12. Релаксациялық тербелістер генераторы

132. Тербеліс периоды ішінде ток та және кернеу де секірмелі күйде болатын генераторлар релаксациялық деп аталады. Мұндай генераторлар электрон-сәулелік түтіктер тетіктерінде (телевизорларда және электрондық осциллографтарда, сондай-ақ радиолокациялық қондырғыларда) пайдаланылады.

133. Ара тәріздес формалы тербелістердің қарапайым генераторын неон лампысында құрастыруға болады (91,а-сурет). Онда  $C$  конденсаторы  $R$  резисторы арқылы  $B$  батареясынан зарядталады.  $C$  конденсаторындағы кернеу лампының жану кернеуіне дейін көтерілгенде, одан ток жүре бастайды.

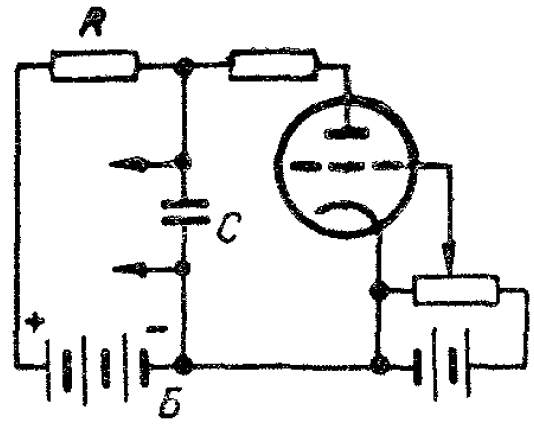
$R$  резисторының кедергісі жеткілікті үлкен болғанда конденсатор лампы арқылы тез разрядталады. Ол лампының өшу кернеуіне дейін разрядталғанда, лампы өшеді де, ток жүру тоқталады. Бұдан кейін конденсатор кернеуі лампы жанғанға дейін қайта өседі, сөйтіп бүкіл процесс периодты түрде қайталайды. Неонды лампылы генератордағы релаксациялық тербелістер формасы 91,б-суретте кескінделген.

92-суретте тиратронмен жұмыс істейтін генератордың схемасы көрсетілген. Бұл схема алдыңғы сияқты жұмыс істейді. Генераторды қосқаннан кейін  $C$  конденсаторы  $B$  батареясынан зарядталады. Іс жүзін-



91-сурет Неон лампылы релаксациялық тербелістер генераторы.

де лампы арқылы ток жүрмейді. Конденсаторда кернеу тиратронның жану потенциалына дейін көтерілгенде, лампыда электр разряды пайда болады да, конденсатор лампы арқылы разрядталады. Ал кернеу өшу потенциалына дейін төмендегенде лампы сөнеді де, конденсатор анод батареясынан қайыра зарядталады. Сөйтіп, процесс қайталанады. Жандыру потенциалы тиратрон торына қажетті кернеу беру арқылы тағайындалады.



92-сурет. Тиратронды генератор.

### § 13. Электрондық-сәулелік түтік. Осциллограф

**134. Осциллограф** деп электр процестерін (уақытқа қарай олардың жүру сипатын) бақылайтын және жазатын приборды атайды. Процестерді тек бақылау қызметін атқаратын приборды осцилоскоп деп атайды. Ең көбірек тарағаны — электрондық осциллограф. Электрондық осциллограф түрлі тез өтетін электромагниттік процестердің: уақытқа қарай өзгеретін токтардың, электрондық приборлардың вольт-амперлік характеристикаларын, түрлі материалдардың магниттелу қисықтарын, электрлік емес процестердің графиктерін (арнаулы тетіктер — датчиктердің көмегімен) т. с. с. графиктердің кескіндерін электрондық-сәулелік түтік экранында бақылауға мүмкіндік беретін прибор болып табылады. Ғылми-зерттеу және өндіріс практикасында осциллограф тез әрекет етуші өлшеуіш тетік ретінде қолданылады. Прибордың негізгі артықшылығы өте жоғары сезімталдығы, кіріс ке-



дергісінің үлкендігі, инерттілігінің аздығы (ол іс жүзінде лезде іске қосылады).

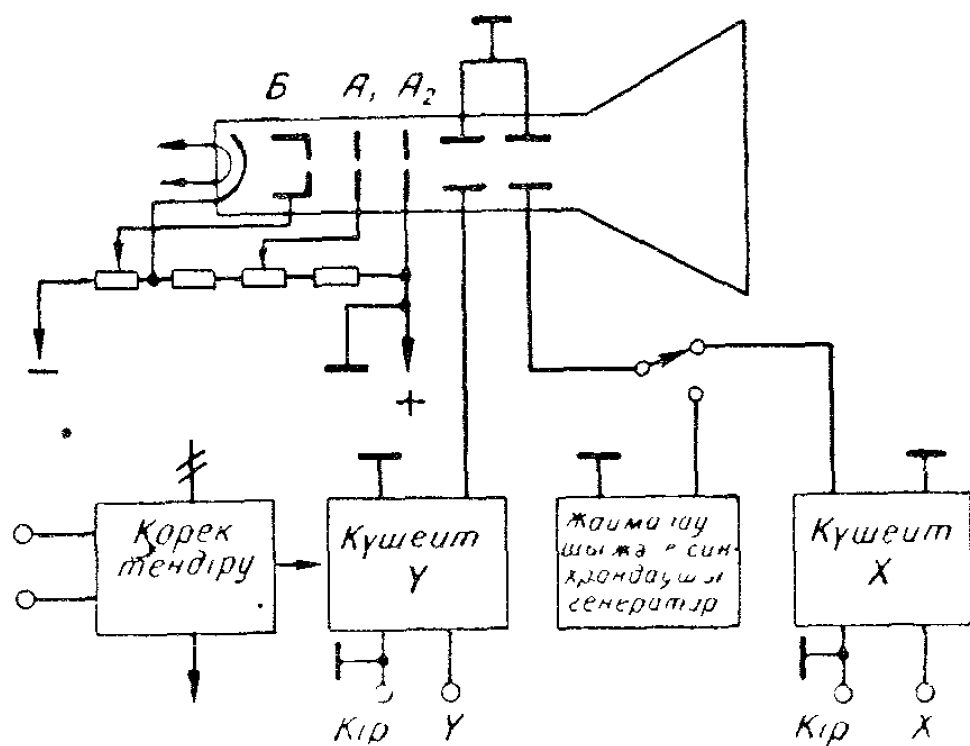
135. Осциллографтың негізгі бөлігі электрондық-сәулелік түтік. Электрондық-сәулелік түтігіміз вакуумдық прибор. Ол радио өлшеу техникаларында, радиолокацияда, телевидениеде және осы заманғы радиоэлектрониканың басқа салаларында кеңінен қолданылып, электр сигналдарын жарық сигналдарына айналдыру қызметін атқарады.

Қазіргі кезде электрондық-сәулелік түтіктердің үш типі қолданылады:

1. Электрондық сәуле электр өрісімен фокустала-тын және ауытқитын, электростатикалық басқарғышты (электростатикалық) түрі;

2. Электрондық сәуле магнит өрісімен фокустала-тын және ауытқитын, электромагниттік басқарғышты (электромагниттік) түрі;

3. Аралас басқарғышты түрі, мысалы, сәуле электр



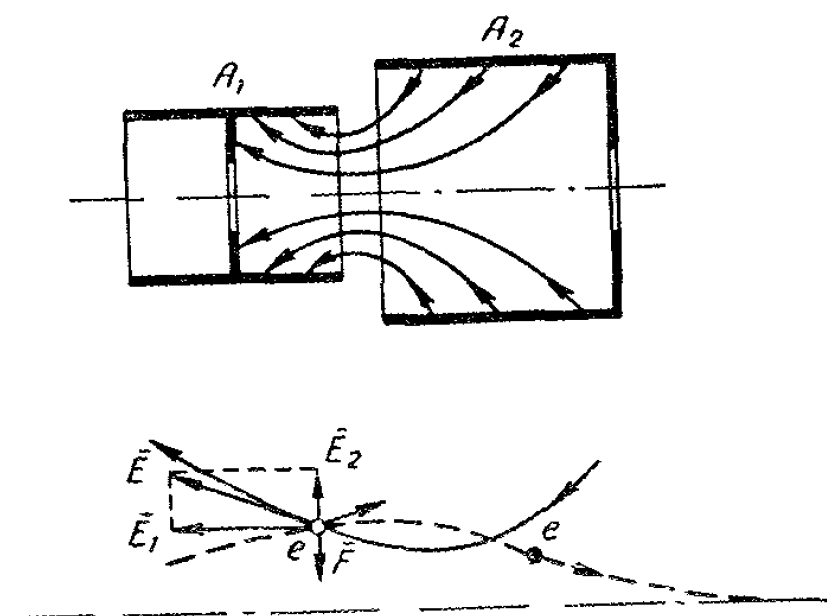
93 сурет. Осциллографтың блок-схемасы.

өрісімен — фокусталады да, магнит өрісімен — ауытқытылады, немесе керісінше.

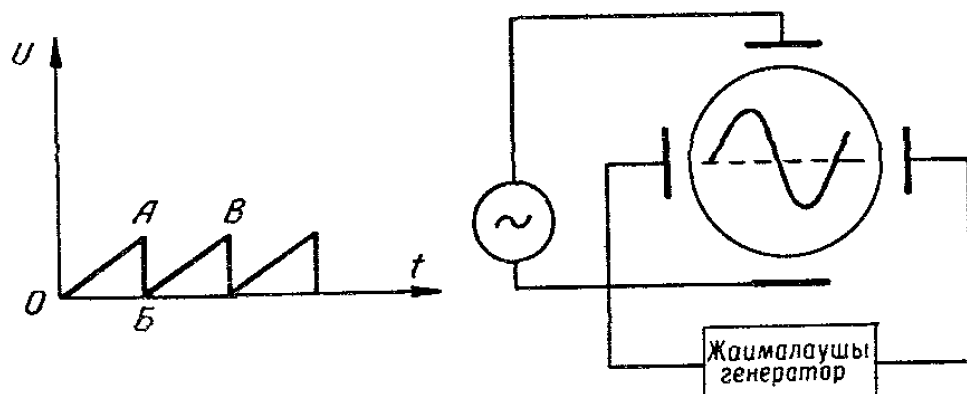
Электростатикалық басқарғышты түтік қолданылатын электрондық осциллографтың құрылысын және әрекет ету принципін жүйелі қарастырып көрелік (93-сурет).

Катод эмиттирлейтін электрондар  $A_1$  және  $A_2$  анодтардың электростатикалық өрістерімен фокусталатын электрондық шоқ түзеді. Екінші анодқа, біріншіге қарағанда, көп кернеу түседі, сондықтан кернеулік сызығы екінші анодтан біріншіге бағытталады. Бұл өріс кернеулігінің радиаль құраушы векторы, электрондарды түтіктің осіне қарай ауытқытады (94-сурет). Фокусталған сәуле түтіктің люминоформен қапталған экранына түседі де, онда жарқыраған дақ пайда болдырады. Дақтың жарықтануы басқарушы электродтың «Б» теріс потенциалын өзгерту арқылы реттеледі.

Түтікте электрондық прожектордан (катодтан, басқарушы электродтан және анодтан) басқа ауытқытушы екі пар пластина бар. Ауытқытушы горизонталь пластинаға арнаулы жаймалаушы генератордан ара тісі тә-



94-сурет. Электрондық сәулені фокустау



95-сурет. Электрондық сәуленің жаймасы.

різдес кернеу берейік (95-сурет). Кернеу артқанда (95-суретте  $OA$  участогы) электрондық сәуле горизонталь жылжитын болады, сонда түтіктің экранында жарқыраған горизонталь түзу пайда болады.  $A$  нүктесінде кернеу күрт төмендеп ( $B$  нүктесіне дейін), сәуле алғашқы қалпына қайтып келеді. Бұдан кейін кернеу тағы да артады ( $BB$ ) және экранда қайтадан түзу сызықты сәуле көрінеді.

Енді вертикаль ауытқытушы пластинаға, мысалы, синусоида формалы пластинаға зерттелетін кернеу түсірейік. Бұл кернеу сәулені вертикаль, ал жаймалаушы кернеу — горизонталь бойынша ығыстырады. Нәтижесінде экранда синусоида кескінін аламыз. Бұл кескін экранда қозғалмас үшін жаймалау жиілігі зерттелуші сигналдың жиілігіне еселік болуы қажет. Жаймалау жиілігін стабильдендіру үшін синхрондау қолданылады. Синхрондау ара тәріздес кернеу генераторы жұмысын зерттелуші сигнал кернеуімен басқарады (ішкі синхрондау) немесе стабильді (тұрақты) жиілікті көлденең ток көзінің кернеуімен (сыртқы синхрондау) басқарады. Сондай-ақ синхрондаушы кернеу ретінде сетьтік (электр жүйесінің) кернеуі де пайдаланылады.

Вертикаль және горизонталь пластиналарға берілетін сигналдарды күшейту үшін осциллографта арнаулы күшейткіштер болады (оларды қысқаша «вер-

тикаль күшейткіш», «горизонталь күшейткіш» деп атайды).

136. Осциллограф тек тікелей бақылау үшін ғана емес, өлшеуіш тетіктер ретінде де қолданылуы мүмкін екендігін жоғарыда айттық. Соған бірнеше мысалдар қарастырайық.

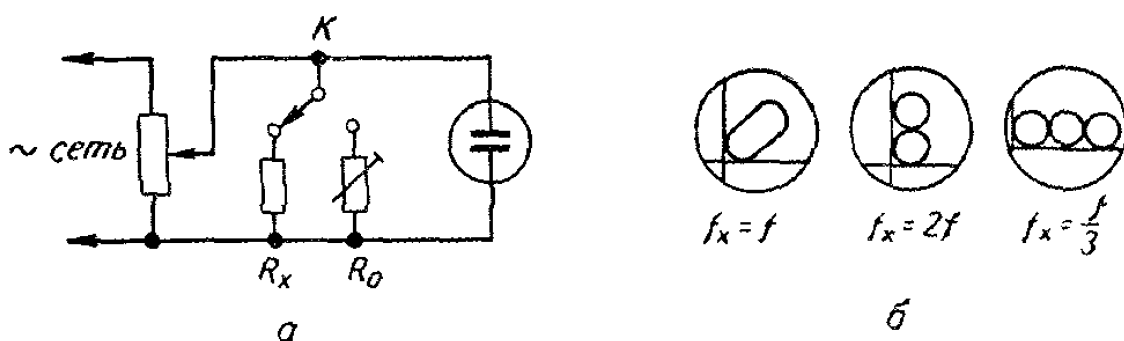
а) **Кернеуді өлшеу.** Жаймалауды ажыратып, ал вертикаль пластинаға 1 в айнымалы кернеу берейік. Экранда белгілі бір ұзындығы бар, мысалы, 5 мм, түзу кесінді аламыз. Енді өлшенетін айнымалы кернеуді берейік. Сонда шыққан сызықтың ұзындығы 30 мм болсын дейік. Демек, өлшенетін кернеудің шамасы мынадай болады:

$$30 : 5 = 6 \text{ (в)}.$$

ә) **Кедергіні өлшеу** (96,а-сурет). *K* кілтін ауыстырып қосқанда осциллографтың кірісіне  $R_x$  және  $R_0$  резисторларынан (кедергілер магазині) алынатын кернеу беріледі.  $R_0$  магазинінің кедергісін өзгерту арқылы *K* кілтінің екі жағдайында да прибордың сәулесі бірдей шамада ауытқитындығын көруге болады. Сонда

$$R_x = R_0.$$

б) **Жиілікті өлшеу.** Горизонталь күшейткіштің кірісіне өлшенетін жиіліктің кернеуі, ал вертикаль күшейткіштің кірісіне стандартты сигналдар генерато-



96-сурет.

а — осциллографтың көмегімен кедергіні өлшеуге арналған схема; б — жиілікті өлшеу кезіндегі Лиссажу фигурасы

рынан  $f_0$  жиілігі белгілі кернеу беріледі. Генератор жиілігін өзгерте отырып, экранда Лиссажу фигурасы шығатындай етуге болады (96,б-сурет). Сонда

$$f_x = \frac{n}{m} \cdot f_0.$$

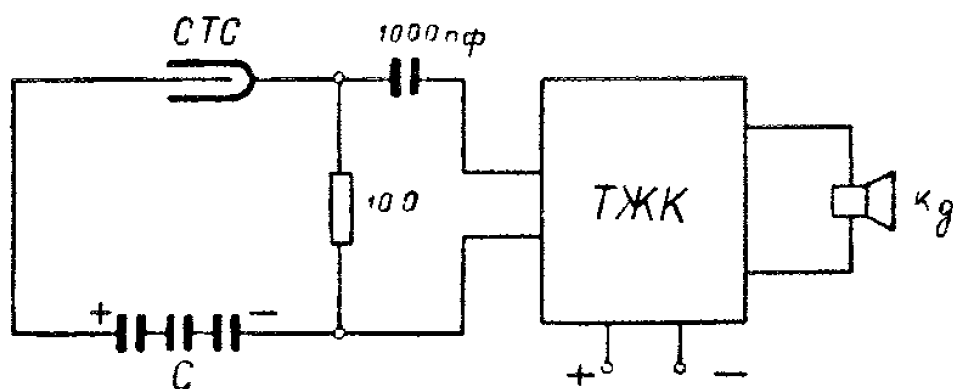
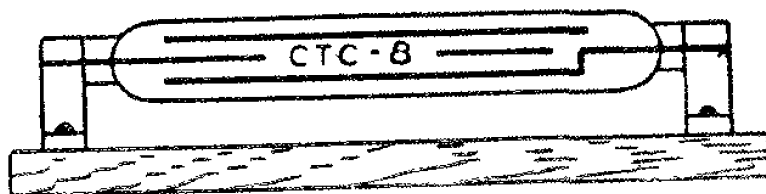
Мұндағы  $n$  — Лиссажу фигурасының вертикаль сызықпен жанасатын нүктелерінің саны, ал  $m$  — Лиссажу фигурасының горизонталь сызықпен жанасатын нүктелерінің саны.

**137.** Өте қысқа мерзімдік, мысалы, найзағай разрядтары, сынау кезінде изоляцияның тесілуі т. б. осы сияқты, қайталанбайтын процестерді зерттеу үшін импульстық электрондық осциллограф деп аталатын прибор қолданылады. Экраннан бір рет қана және өте шапшаң із тастап өтетін электрон сәулесі қалыпты электрондық осциллографтың экранында байқарлықтай жарқыраған із қалдырмайды. Қысқа мерзімдік және қайталанбайтын құбылыстарды бақылаған кезде жарықтықты арттыру электрон сәулелерін түзетін электрондарды үдету үшін ондаған және жүздеген киловольт өте жоғары кернеуді пайдалану арқылы орындалады. Түтікті аса жүктемеу үшін және оны қоректендіруге кететін қуатты азайту мақсатымен бұл жоғары кернеу тек бақыланатын процесс жүрген кездегі аз уақытқа ғана қосылады. Аса жетілдірілген импульстық электрондық осциллографтарды СССР-де профессор *И. С. Стекольников* жасап шығарды.

## § 14. Элементар бөлшектер счетчигі

**138.** Элементар зарядталған бөлшектердің счетчигі — қазіргі кездегі ядролық физикада иондаушы бөлшектерді тіркеуші негізгі құрал. Бұл счетчиктер олар арқылы бөлшектер өткен кезде электрлік им-

97-сурет. СТС-8 индикаторлық түтік.



98-сурет Элементар бөлшектер счетчигі.

пульс туғызады да, ал ол қайсыбір электрондық тетіктермен күшейтіледі және тіркелінеді. Мұндай счетчиктердің көмегімен бөлшектердің өту фактілерін ғана тіркеп қоймай, бөлшектердің өту уақытын да, оның иондаушы қабілетін, жылдамдығын, энергиясын және басқа характеристикаларын да тіркеуге болады.

Гейгер-Мюллер счетчигі деп аталатын счетчиктің негізгі бөлігі СТС типті индикатор түтік болып табылады. Түтік этил спирті буы қосылған аргонмен толтырылады. Түтік ішінде конденсатор бар. Ол металл цилиндр мен металл қыл сымнан тұрады (97-сурет). Қыл сымға оң потенциал, ал цилиндрге теріс потенциал беріледі.

СТС типті түтікті қондырғының схемасы 98-суретте көрсетілген. Түтікті қоректендіру үшін 400 вольтқа дейінгі кернеу қажет болатындықтан, бұл мақсат үшін сыйымдылығы 100 мкф-дан С конденсаторлар батареясын пайдалануға болады. Конденсаторларды төменгі жиілікті күшейткішті қоректендіретін батареядан зарядтайды.

Түтікке зарядталған немесе зарядталмаған бөлшектер түскен болса, онда газдың иондануы және репродукторда тықыл ретінде білінетін қысқа уақыттық электр разряды пайда болады. Сирек естілетін тықыл космос сәулелерінің, айналадағы заттардың радиоактивтілігі т. б. есебінен де шығып тұрады. Егер түтікке радиоактивті препаратты (Вильсон камерасы инесін, жарқырайтын сағаттың циферблатын) жақындататын болсақ, онда тықыл саны күрт көбейеді.

Счетчиктің уақыт бірлігі ішінде тіркей алатын бөлшектерінің ең көп санын **счетчиктің айырғыштық қабілеті** деп атайды. Элементар бөлшектердің *Гейгер-Мюллер* счетчигі биологияның, медицинаның, өндірістің және техниканың басқа да көптеген салаларында кеңінен қолданылады.

## БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ. ЕСЕПТЕР

### 1—5-параграфтарға:

1. Электрондық лампыға жоғары вакуум не үшін қажет? Геттер дегеніміз не?
2. Кенотрон дегеніміз не?
3. Вакуумдық диодтардың аса маңызды параметрлерін атап шығыңыздар.
4. Кенотронның ішкі кедергісі дегеніміз не? Характеристикасының тіктігі дегеніміз не?
5. Электрондық лампының, газотронның және шала өткізгішті диодтың вентильдік қасиеттерін салыстырыңыздар.
6. Газотрондар не себепті үлкен токты түзете алады?
7. Газотрондардың эксплуатациялық ерекшеліктері қандай?
8. Неон лампының жұмысын түсіндіріңіздер.
9. Вакуумдық және шала өткізгіштік диодтар қалай маркирленеді?
10. Шала өткізгіштік диодтардың артықшылығы неде?
11. Электрондық, газ толтырылған және шала өткізгіштік диодтар қалай жасалған?
12. Бір жарты периодты түзеткіштің жұмыс принципін түсіндіріңіздер. Екі жарты периодты түзеткіш қалай жұмыс істейді?
13. Индуктивті-сыйымдылықты тегістеуші фильтрдің жұмыс принципі қандай?

14 5ЦЗС кенотронының вольт-амперлік характеристикасын пайдаланып (44-сурет), оның айнымалы токқа ішкі кедергісін және характеристикасының тіктігін анықтаңыздар.

15. Екі жарты периодты түзеткіштің түзетілген тогының амплитудасы  $3,14 a$  Токтың орташа мәні қандай?

16. Трансформатордың екінші реттік обмоткасының қысқыштарындағы кернеу  $220 \text{ в}$  (66-сурет). Жүктік резистордың кедергісі  $R_{жс} = 2000 \text{ ом}$ . Түзетілген токтың орташа мәнін анықтаңыздар. Вентиль мен трансформатордың екінші реттік обмоткасының кедергісі ескерілмейді.

## 6—9-параграфтарға

1. Вакуумдық триод, тиратрон, транзисторлардың құрылысы қандай?

2. Электрондық-вакуумдық триод пен тиратронның торларының атқаратын қызметінің айырмашылығы неде?

3. Триодтың өтімділігі дегеніміз не?

4. Характеристикалық үшбұрыш дегеніміз не? Оның көмегімен триодтың параметрлерін қалай анықтаймыз?

5. 99-суретте 6Н1П триодының анодтық-торлық характеристикалар тобы кескінделген. Олар анодтық кернеулері: 120, 180 және 240 в болғанда алынған. Мыналарды орындаңыздар:

а) Характеристикалар үстіне анодтық кернеулердің тиісті мәндерін жазыңыздар.

ә) Триодтың статикалық параметрін анықтаңыздар.

6. Суық катодты тиратронның жұмыс принципін түсіндіріңіздер.

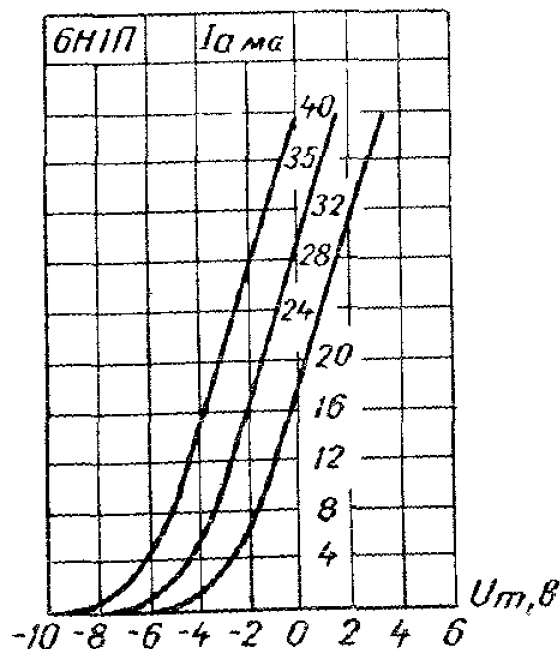
7. Транзистордың негізгі характеристикалары қандай?

8. Транзисторды қосудың негізгі үш схемасы қандай?

9. Транзистордың өздеріңізге белгілі статикалық және динамикалық параметрлерін атап шығыңыздар.

10. Динатрондық эффект дегеніміз не?

11. Пентодтың ерекшелігі қандай?



99-сурет. 6Н1П триодының анодтық-торлық характеристикалары (5-есепке).



12. Көп торлы лампылар қандай мақсаттар үшін пайдаланылады?

13. Вакуумдық триодтың характеристикасының тіктігі  $25 \text{ ма/в}$ , ал ішкі кедергісі  $1000 \text{ ом}$ . Лампының күшейту коэффициентін және өтімділігін анықтаңыздар.

14. Транзистордың кірісінде айнымалы кернеу  $0,5 \text{ в}$  және ток  $10 \text{ ма}$  болғанда, оның шығысынан  $4 \text{ в}$  кернеу және  $20 \text{ ма}$  ток алынды. Қуат бойынша күшейту коэффициентін анықтаңыздар.

### 10—11-параграфтарға

1. 85,а-суреттегі схема бойынша электрондық реленің қалай жұмыс істейтінін түсіндіріңіздер.

2. Транзисторлы реле қалай жұмыс істейді?

3. Триодтың күшейткіштік әрекетін түсіндіріңіздер.

4. Күшейткіштерде не себепті тиратрондар пайдаланылмайды?

5. Қаскад дегеніміз не?

6. Күшейткіштің күшейту коэффициенті дегеніміз не?

7. Жиіліктік және сызықтық емес бұрмалау дегеніміз не?

8. Теріс торлық ығысу кернеуінің шамасының сызықтық емес бұрмалауға қандай әсері бар?

9. 90-суреттегі схема бойынша күшейткіш қалай жұмыс істейтінін айтып шығыңыздар.

10. Күшейткіштің күшейту коэффициенті жүктік резистордың кедергісінің шамасына тәуелді бола ма?

11. Шығыстық трансформатордың атқаратын қызметі қандай?

12. 90-суретте көрсетілген күшейткіштің схемасын талдап қараңыздар. Күшейткіш қалай жұмыс істейді, жеке резисторлар мен конденсаторлардың атқаратын қызметі қандай, соны айтып беріңіздер.

13. Лампының ішкі кедергісі  $2000 \text{ ом}$ , күшейту коэффициенті 21, ал анодтық тізбектегі жүктік резистордың кедергісі  $1000 \text{ ом}$ ға тең (84—86-суреттерді қараңыздар). Қаскадтың күшейту коэффициентін есептеңіздер. Егер жүктік резистордың кедергісін екі есе арттырсақ, бұл коэффициент қалай өзгереді? Екі есе азайтсақ ше? Қандай қорытынды шығаруға болады?

14. Лампы күшейтілетін тербелістің фазасын  $180^\circ$ -қа «айналдырады». Осыны 85-суреттегі графикті пайдаланып дәлелденіңіздер.

15. 85-суретте көрсетілген схемадағы  $R_{ығ}$  резисторы кедергісінің шамасы  $400 \text{ ом}$ , ал оның қысқыштарындағы кернеу  $2 \text{ в}$ . Анодтық токтың тұрақты құраушысының шамасын табыңыздар.

16. Репродуктордың дыбыстық катушкасының кедергісі  $20 \text{ ом}$ , ал лампының жүктік кедергісі  $4500 \text{ ом}$  болуы керек. Шығыстық трансформатордың трансформациялау коэффициентін есептеп табыңыздар.

## 12—14-параграфтарға

1. Тиратронды релаксациялық тербелістер генераторы қалай жұмыс істейді?
2. Электрондық-сәулелік түтіктің электрондық прожекторының құрылысы қандай?
3. Электрондық сәулені фокустау іс жүзіне қалай асырылады?
4. Электрондық-сәулелік түтік экранындағы кескіннің жарықтығы қалай реттеледі?
5. Жаймалаушы генератордың атқаратын қызметі қандай?
6. Осциллографта синхрондау қандай мақсатпен қолданылады?
7. Осциллографтың көмегімен кернеуді, кедергіні, жиілікті қалай өлшеуге болады?
8. Элементар бөлшектер счетчигінің жұмыс принципі түсіндіріңіздер.

**ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫСТАР****Лабораториялық жұмыстарды орындау туралы**

Лабораториялық жұмыстарды орындау кезінде электр тогымен айналысуға тура келеді. Жұмыс кезінде өте сақ болмаса электр тогы адам организміне зақым келтіреді. Сондықтан әрбір оқушы қауіпсіздік техникасы ережелерін, лабораториядағы тәртіп ережелерін, электр тогынан зақымдалған кезде алғашқы дәрігерлік көмек көрсету әдістерін білуі және бұл мәселелер жөнінде мұғалімге зачет тапсыруы керек.

Лабораториялық жұмыстың түсініктеме нұсқауын алысымен, оны мұқият оқып шығып, оқулықтан қажетті материалдарды қайталап, өзіне не істеу керектігін айқындап алу керек.

Егер жұмыс шарты бойынша резисторды, конденсаторды, өлшеуіш приборды өздігінен жинақтап құрастыру керек болса, олар жөнінде схемалардағы мағлұматтар және электрондық лампылардың, транзисторлардың, тиратрондардың т. б. паспортында берілген үлгі бойынша орындалады. Мысалы, жұмыс үстінде лампының анодтық тізбегінде потенциометр ретінде пайдаланылатын реостатты тауып алу керек болсын. Лампы паспорты бойынша ең үлкен анодтық ток —  $45 \text{ ма}$ , ал ең жоғары анодтық кернеу —  $225 \text{ в}$  болуы керектігі белгілі. Олай болса, реостаттың кедергісі шамамен (Ом заңы бойынша)  $225 \text{ в} : 0,045 \text{ а} = 5000 \text{ ом}$ . Әрі мұндай реостат  $50 \text{ ма}$ -ден кем емес токқа лайықталған болуы керек.

Жинастырып құрастырылған детальдар мен при-

борлардың жарамдылығы авометрдің көмегімен тексеріледі.

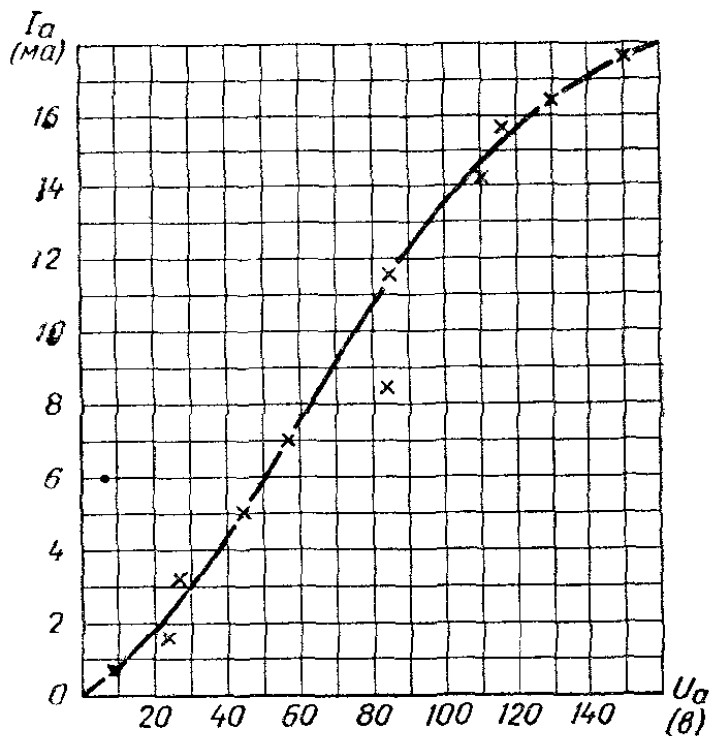
Өлшеуіш приборлар өлшенетін токтың тегіне, өлшеу шегіне, ал қажетті болғанда — дәлдік класы, ішкі кедергісі, жұмыс жиілігі диапазондары бойынша да таңдап алынады.

Біздің мысалымызда лампының анодтық тогын есептеу үшін 50 *ма*-лік миллиамперметр жарамды. Шынында өлшеу шегі кем прибор істен шығуы да, ал өлшеу шегі тым үлкендері аз шамаларды жеткілікті дәлдікпен өлшей алмауы да мүмкін.

Электр тізбегін құрастырып болған соң, оның дұрыстығын мұғалім тексеріп шыққаннан кейін ғана тізбекті қосуға болатындығын, электрлік жалғастырулардың сенімді болуы керектігін, электр монтажына жалаңаш сымдарды қолдануға болмайтындығын, схеманың ток жүретін жалаңаштанған бөлігіне қол тигізуге болмайтындығын есте сақтаңыздар. Қандай да болса бір кемшілікті байқасаңыз, тізбекті үзіп, ол туралы мұғалімге айтуыңыз керек.

Орындалған лабораториялық жұмыс жөніндегі жазбаша мәлімет бергенде қысқаша тұжырымдап, түсінікті етіп баяндаған жөн. Онда тиісті схемалар, өлшеу нәтижелері жазылған таблицалар мен есептеулер, графиктер, қысқаша қорытынды берілуі керек. Сондай-ақ тиісті формулалар және оларға сүйеніп жасалатын есептеулер келтірілуі керек. 2-қосымшада осы жазбаша мәліметтің бланкісінің үлгі формасы берілген.

Графиктерді сызғанда масштабты көрсету қажет, координаталар осьтеріне өлшеп салынатын шамалардың белгілері және олардың өлшеу бірліктері көрсетілуі тиіс. Графиктерді мүмкін болғанынша миллиметрлік қағазға сызған жөн. Қисық сызықтар лекалоның көмегімен, қағазға түсірілген нүктелерді неғұрлым көбірек басып өтетіндей, бірақ қисықтың



100-сурет. Нүктелері бойынша қисықтың графинің сызу.

жалпы жатықтығы бұзылмайтындай етіп жүргізілуі керек. Кейбір нүктелер қисықтан тыс та қалуы мүмкін (100-сурет).

Есептеулерді негізгі физика курсы бойынша лабораториялық жұмыстар орындаған кездегідей дәлдікпен жасаған жөн.

Қысқаша қорытындыда тәжірибелердің нәтижелері туралы, жұмыс істеген приборлардың (кейде зерттелуге тиістілерінің) характеристикалары жайындағы өз тұжырымдары жазылуы және зерттелген схемалардың ерекшелігі мен физикалық мәні бейнеленуі керек.

Әрбір оқушы кейін берілетін мұндай жұмыстардан он жұмыс орындайды (мұғалім жасаған график бойынша). Берілген тапсырмаларды еркін игерген озат оқушы өзінің қалауы бойынша осы лабораториялық жұмыстарға қосымша тапсырмалар алуына болады.

## Экспресс-бақылау бойынша программаланған тапсырмалар орындау

Әрбір лабораториялық жұмысты орындауға кірісер алдында мұғалім оқушылардың оларды орындауға әзірлігін байқап шығады. Бір-екі оқушыдан қайталап сұрап, қалғандарына программаланған тапсырмалар беріледі.

Машинасыз программаланған тапсырмалар сериялы нөмірленген сұрақтар және сол сұрақтардың нөмірленген жауаптары болып келеді. Бірақ дұрыс жа-

Ф., а., ә. а _____		Шифр _____									
Жауаптар-дың рет №	Сұрақтардың рет №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

уаптардың нөмір реті өзгертіледі. Оқушының міндеті әрбір сұраққа дұрыс жауап беру. Содан соң 149-беттегідей бақылау карточкасын толтырады.

Мысалы, егер № 4 сұраққа дұрыс жауап № 6 болса, онда оқушы осы таблицадан № 4 баған мен № 6 жолдың қиылысқан жеріне крест қояды. Қалған сұрақтарға жауаптар да осылай табылады. Мұғалімде де дәл осындай (дешифратор) бар. Ондағы карточкада тиісті дұрыс жауаптардың орнына крест қойылмай, ол тор ойылып алынған. Мұғалім дешифраторды оқушының карточкасы бетіне туралап беттестіргенде оның ойық торынан, оқушы өз карточкасына жауапты дұрыс тауып крест қойса, крест көрінеді, ал крест дұрыс қойылмаса көрінбейді. Сөйтіп, мұғалім оқушының неше сұраққа дұрыс жауап бергенін бірден біледі.

Мұндай бақылау бірнеше минут ішінде бүкіл класты тексеріп шығуға мүмкіндік береді.

Егер оқушы тапсырманы қанағаттанғысыз орындаса, онда ол оқу материалын қайта пысықтап, мұғалімге ауызша зачет тапсырады немесе тағы да осы сияқты программаланған тапсырма орындайды. Сондықтан лабораторияға берілетін уақытты босқа кетіртмес үшін, оқушылар алда орындауға тиісті жұмысқа мұқият әзірленіп, ұсынылған әдебиеттерді оқып, тәжірибелердің физикалық мәнін аңықтап, жазбаша мәлімет беру бланкісін әзірлеп келулері керек.

Егер экспресс-бақылау машинаның көмегімен берілсе, онда оқушылардың міндеті көбінесе берілген сұраққа қайтарылған бірнеше жауаптардың ішінен дұрыс жауапты тауып алу болады; содан соң машинаның нөмірі таңдап алынған жауаптың нөміріне сәйкес кнопкасын басады (немесе ажыратып-қосқышты кұрастырып, тиісті нөмірге келтіреді). Мұндай жағдайда бақылау ретіндегі тапсырманың орындалуына машина баға береді.

## № 1 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

### Ксенон атомдарының қозу потенциалдарын анықтау

**Жұмыстың мақсаты:** атом энергиясы өзгеруінің дискреттілігін эксперимент жүзінде бекіту.

**Приборлар және жабдықтар:** радио детальдары және лампы панелі бекітілген шасси, ксенон толтырылған ТГ1 — 0,1/1,3 приборлар.

### Жұмысты орындау программасы

1. Электрондық приборлар жөніндегі анықтағыштан тиратронның цокольдануын табыңыздар.

2. 101-суретте көрсетілген схеманы пайдаланып, қажетті электрлік жалғастыруларды орындаңыздар.

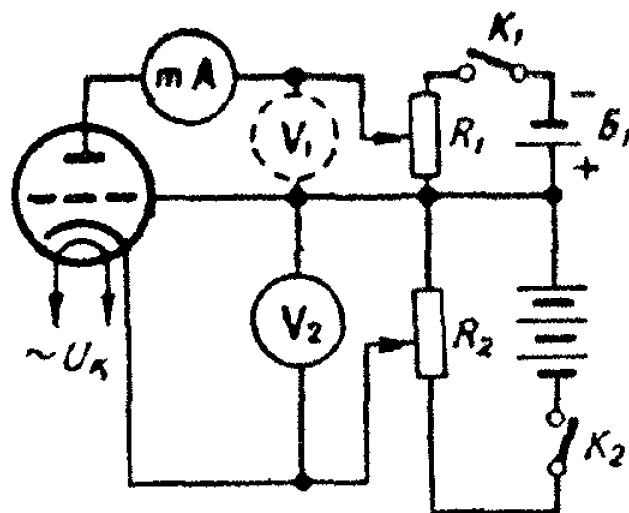
3.  $R_2$  потенциометрдің жылжығышын ең жоғарғы шеткі (101-суреттегі схема бойынша) жағдайына келтіріп қойыңыздар. Қыздыру ток көзін қосып, катод қызғаннан кейін,  $K_1$  және  $K_2$  кілттерін қосыңыздар.

Потенциометрдің ( $R_1$ ) көмегімен жапқыш кернеуді 8,4 в-ке қойыңыздар.  $R_2$  потенциометрдің жылжығышын қозғай отырып, приборлардың көрсетуін байқаңыздар.

$V_2$  вольтметрі көрсетіп тұрған кернеудің қандай шамасында анодтық ток күрт азаяды. Бұл нені білдіреді?

Ксенон атомдарының қозу потенциалын анықтаңыздар.

4.  $V_2$  вольтметр көрсететін жабушы кернеудің шамасы анодтық токтың кему шамасына қандай әсері



101-сурет. Ксенон атомдарының қозу потенциалдарын анықтауға арналған қондырғының схемасы.



барлығын анықтаңыздар. Бұл кернеуді өзгерту  $R_1$  потенциометр арқылы орындалады.

5. Қосымша тапсырма. Тәжірибені қайталап (3-пункттегі), вольтметр мен миллиамперметрдің көрсетуі бойынша

$$U_2 = f(I_a)$$

функциясының графигін сызыңыздар.

Тәжірибе бірінші қозу потенциалын алғанға дейін жүргізіледі.

Жазбаша мәлімет бергенде орындалған тәжірибеге сүйеніп Франк пен Герц тәжірибесінің физикалық мәні туралы қорытынды жасаңыздар.

## № 2 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

### Электронның меншікті зарядын анықтау

**Жұмыстың мақсаты:** диодтың көмегімен электрон зарядының массаға сан мәні жағынан қатысын эксперимент жүзінде анықтау<sup>1</sup>.

**Приборлар мен жабдықтар:** лампы орнатылған панелі бар тұғыр, кенотрон (5Ц3С, 6Ц5С, 6Ц10П), миллиамперметр, вольтметр, потенциометр, кенотрон түзеткіш.

### Жұмысты орындау программасы

1. Есептеу формуласын қорытып шығару үшін диод электродтарын конденсатор астарлары ретінде қарастырамыз. Сонда анодтық ток:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{CU}{t} = \frac{\epsilon_0 S U}{td} = \frac{\epsilon_0 S U}{d^2} \cdot \frac{d}{t}.$$

Мұндағы  $\epsilon_0$  — вакуумның диэлектрлік өтімділігі ( $8,85 \cdot 10^{-12}$  ф/м),  $S$  — электрод ауданы ( $m^2$ ),  $d$  — электродтардың ара қашықтығы ( $m$ ).

<sup>1</sup> В. И. Ринский. Электронның меншікті зарядын диодтың көмегімен анықтау. «Физика в школе», № 6, 1968 ж.

Электрондардың орташа жылдамдығы:

$$\frac{d}{t} = \frac{1}{2} v.$$

Ақырғы жылдамдық  $v$ -ні (22) формуламен өрнектейміз. Сонда

$$I = \frac{\epsilon_0 S U}{d^2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m}},$$

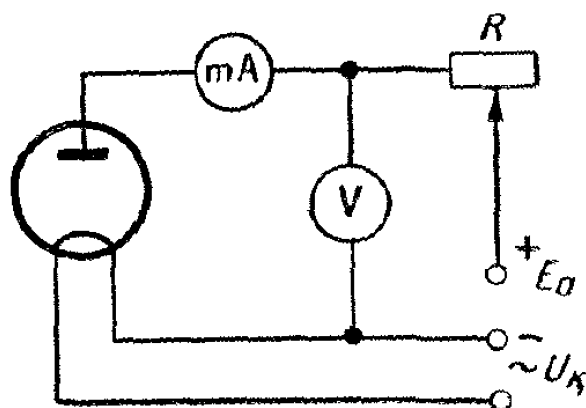
бұдан іздеп отырған есептеу формуласы шығады, яғни

$$\frac{e}{m} = \frac{2d^4}{\epsilon_0^2 S^2} \cdot \frac{I^2}{U^3}.$$

Электродтардың геометриялық өлшемдерін тексеруші лампымен типтес жарамсыз лампыны алып анықтауға болады.

Бұл өлшемдер кейбір лампылар үшін мына таблицада келтірілген:

	Лампы типтері		
	5Ц3С (бір диод)	6Ц5С (бір диод)	6Ц10П
$S$ (мкв)	$15 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$35 \cdot 10^{-5}$
$d$ (м)	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$



102-сурет. Диодтың көмегімен электронның меншікті зарядын анықтау.

2. 102-суретте көрсетілген электр тізбегін құрастырыңыздар. Анодтық кернеу 10 в, 20 в, 30 в болғандағы лампының анодтық тогын өлшеңіздер. Осы үш жағдай үшін электронның меншікті зарядын есептеп шығарып, оларды нақты мәнімен салыстырыңыздар. Ол

$$\frac{e}{m} = 17,6 \cdot 10^{10} \text{ к/кг.}$$

### № 3 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

Шала өткізгішті диодтың вольт-амперлік характеристикасын алу

**Жұмыстың мақсаты:** шала өткізгішті диодтардың құрылысын және жұмысын зерттеп білу, сондай-ақ олардың біреуінің вольт-амперлік характеристикасын эксперимент жүзінде алу.

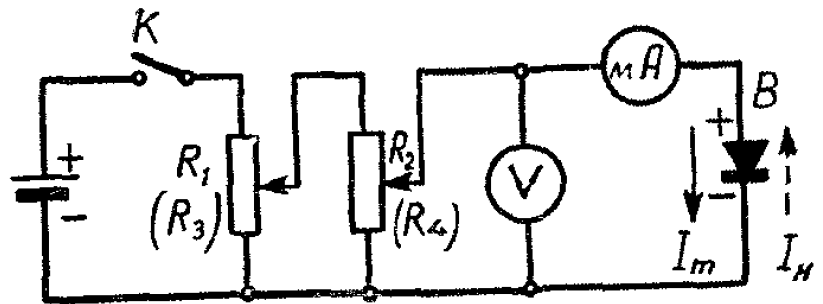
**Приборлар мен жабдықтар:** тұғырға бекітілген шала өткізгішті диод (мысалы, Д9В типті), миллиамперметр (0—20 ма), екі вольтметр, потенциометр ретінде қолданылатын төрт реостат ( $R_1$  мен  $R_2$  20—50 ом-нан, ал  $R_3$  пен  $R_4$  2—6 ком-нан), ток көзі, ажыратқыш, оқу плакаттары, шала өткізгішті диодтардың үлгілері.

#### Жұмысты орындау программасы

1. Плакат бойынша нүктелік және жазық диодтардың құрылысын және жұмыс принципін қайталау. Әр түрлі типті диодтардың конструкциялық жабдықталуын байқаңыздар.

2. 103-суретте көрсетілген схеманы құрастырыңыздар. Төмен омдық потенциометрлер, ал ток көзі ретінде қосқанда жүретін тогының бағыты диод арқылы өтетін тура токтың бағытымен бағыттас болатын құрғақ элемент пайдаланылады. Потенциометр

103-сурет. Шала өткізгішті диодтың вольт-амперлік характеристикаларын алуға арналған электрлік схема.



көмегімен кернеуді нольден 1—1,5 в-қа дейін өзгерте отырып, приборлардың 5—6 көрсетуін жазып алыңыздар.

3. Тәжірибені токтың кері бағыты үшін қайталаңыздар. Ток көзін кернеуі 20—30 в артатындай элементпен алмастыру керек. Потенциометрлерге жоғары омдық реостаттар қолданылады. Сондай-ақ вольтметрді басқа тиісті өлшеу шегі сәйкес келетінімен алмастыру керек.

4. Өлшеу нәтижелері бойынша таблицаны толтырыңыздар:

Рет №	$U_T$ (в)	$I_T$ (ма)	$U_K$ (в)	$I_K$ (ма)

Таблица мәліметтері бойынша  $I=f(U)$  формуласының графигін салыңыздар.

Жазбаша мәлімет бергенде алынған вольт-амперлік характеристикаға сипаттама беріп, түсіндіріңіздер.

#### № 4 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

Триодтың анодтық-торлық характеристикасын алу

**Жұмыстың мақсаты:** үш электродты электрондық лампының құрылысын және жұмыс принципін зерт-

теп білу, сонымен бірге оның анодтық-торлық характеристикасын алу.

**Приборлар мен жабдықтар:** үш электродты лампылы панель, кенотрон түзеткіш, потенциометр ретінде қолданылатын жоғары омды реостат (3—5 мың ом), жылжымалы тиекті реостат (500—600 омдық), екі вольтметр, миллиамперметр, оқу плакаттары.

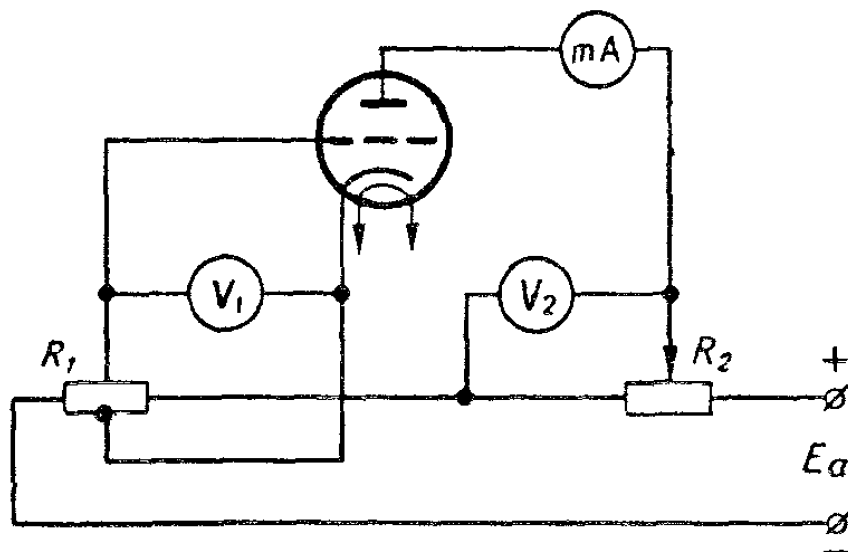
### Жұмысты орындау программасы

1. Оқу плакатын пайдаланып, триодтың құрылысымен және жұмыс принципімен танысу.

2. Лампының заводтық паспорты немесе анықтағыш бойынша өлшеуіш приборларды дұрыс таңдап алу үшін (тиісті өлшеу шегі болатындай етіп) оның параметрлерімен танысыңыздар.

3. 104-суретте көрсетілген схеманы құрастырыңыздар да, оны мұғалім тексергеннен кейін, ток көзіне қосыңыздар.

4. Мұғалім атаған анодтық кернеуге қойыңыздар да, одан әрі оны  $R_2$  потенциометрінің көмегімен өзгертпей ұстаңыздар.



104-сурет. Триодтың характеристикаларын алуға арналған схема.

5. Анодтық тізбектегі ток нольге тең болатындай етіп,  $R_2$  потенциометр көмегімен торлық кернеуді тағайындаңыздар. Содан соң торлық кернеуді арттыра отырып, торлық тізбектегі миллиамперметр мен вольт-амперметрдің көрсетуін белгілеңіздер. Приборлардың 8—10 көрсетулерін жазып алыңыздар. Алынған мәлімет бойынша лампының анодтық-торлық характеристикасының графигін салыңыздар.

$$I_a = f(U_T).$$

Абсцисса осіне вольтпен алынған торлық кернеудің мәнін, ал ордината осіне миллиампермен алынған анодтық токтың мәнін өлшеп салыңыздар.

6. Қосымша тапсырма: Алынған характеристика бойынша оның тіктігін анықтаңыздар. Басқа статикалық параметрлерді: күшейту коэффициентін, ішкі кедергіні, өтімділікті қалай алу керектігін ойластырыңыздар.

Рет №	$U_T$ (ө)	$I_a$ (ма)

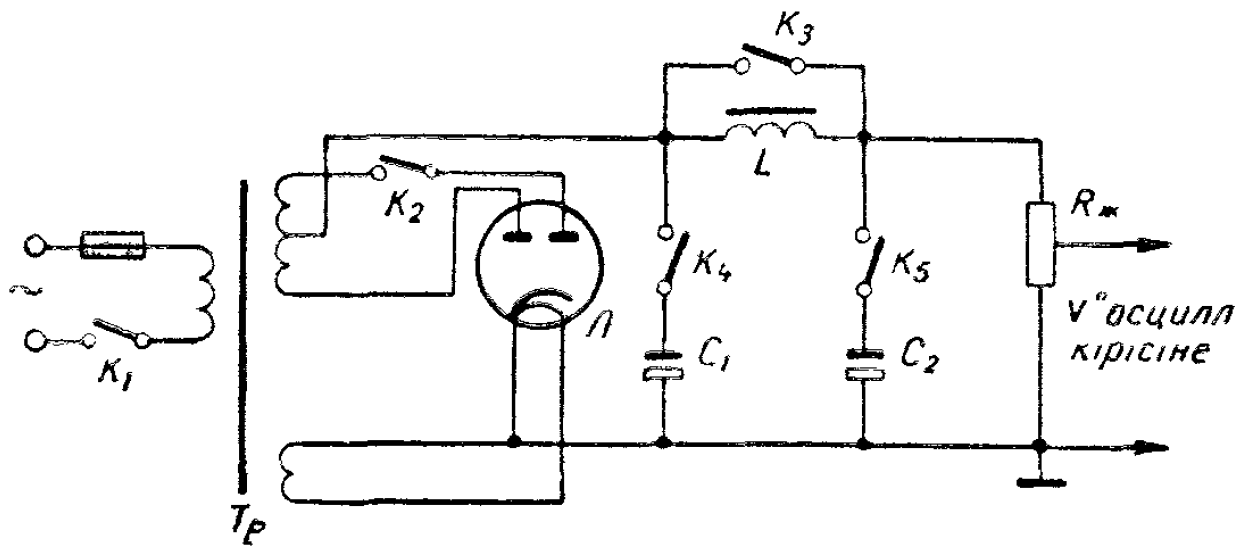
Жазбаша мәлімет бергенде, анодтық-торлық характеристиканың қисығының алыну барысын түсіндіріп жазыңыздар.

## № 5 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

### Кенотрон түзеткіштің жұмысын зерттеу

**Жұмыстың мақсаты:** кенотрон түзеткіштің құрылысын және жұмысын зерттеп білу.

**Приборлар мен жабдықтар:** панельге құрастырылған кенотрон түзеткіш (105-сурет) және электрон осциллограф.



105-сурет. Кенотронды түзеткіштердің жұмысын зерттеуге арналған схема.

## Жұмысты орындау программасы

1. Түзеткіштің құрылысын қарастырып, оның әрбір детальдарының атқаратын қызметін анықтаңыздар. Мұндай түзеткіш қалай жұмыс істейтінін еске түсіріңіздер. Түзетудің бір жарты периодты схемасынан екі жарты периодтысына (және керісінше) қандай кілттің көмегімен көшуге болатынын анықтаңыздар.

2. Түзеткішке осциллографты қосыңыздар. Жүктік резистордың ( $R_{ж}$ ) жылжымалы тиегін ең шеткі төменгі қалпына қойыңыздар. Түзеткішті қосып, кенотрон катодының қызатын-қызбайтынын тексеріңіздер.

3. Өзіңіз қандай түзеткішті сынайтыныңызды: бір жарты периодты ма, әлде екі жарты периодты ма, соны мұғалімнен сұрап алып, кілтті тиісті жағдайына қойыңыз.

Түзеткіштің шығысынан осциллографқа аздаған кернеу беріңіздер. Сонда осциллограф экранында сіздер түзетілген кернеудің мынадай қисығын алуларыңыз керек:

а) Фильтрсіз.

- ә) Бір ғана конденсатор ( $C_1$ ) қосулы тұрғанда.
- б) Фильтр дроссель қосылған, ал конденсатор ажыратылған жағдайда.
- в) Дроссельде және  $C_1$  конденсатор қосылған жағдайда.
- г) Тегістеуші фильтрдің барлық элементтері қосулы тұрғанда.

Әрбір тәжірибені жеке орындағанда қай кілттер қосулы, қай кілттер ажыратулы тұруы керектігін өз беттеріңізбен шешіңіздер. Мөлдір қағаз алып, оны осциллограф экранына жапсырып, шыққан қисықты жұмсақ қарындашпен сызып алыңыздар. Осциллограф түтігін бүлдіріп алмай, байқап орынданыздар.

4. Мұғалімге өз зерттеулеріңіздің нәтижесін көрсетіңіздер. Жазбаша мәлімет бергенде тегістеуші фильтрдің жеке элементтерінің түзетілген кернеу қисығының формасына қандай әсері болғаны туралы қорытындылап жазыңыздар.

## № 6 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

**Релаксациялық тербелістер генераторын құрастыру және сынап білу**

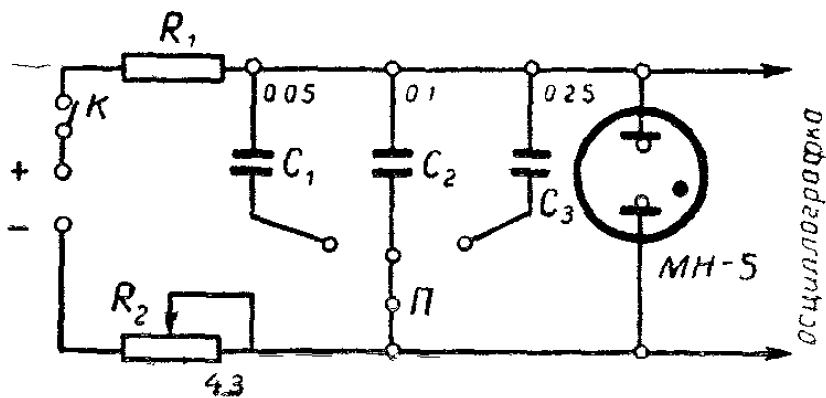
**Жұмыстың мақсаты:** неонды лампыда құрастырылған релаксациялық тербелістер генераторын жинастыру және жұмысын сынап білу.

**Приборлар мен жабдықтар:** радио детальдар бекітілген шасси, электрондық осциллограф, ток көзі, секундмер.

### Жұмысты орындау программасы

1. 106-суреттегі схеманы пайдаланып, генератор құрастырыңыздар. Жеке детальдардың атқаратын қызметін, генератордың жұмыс принципін айқындаңыздар.





106-сурет. Релаксациялық тербелістер генераторы.

2. Мұғалім құрастырылған схеманы қарап шыққаннан кейін, генераторды қосыңыздар. Конденсатордағы кернеудің қисығының экранда айқын кескінін алыңыздар. Сонда пайда болған қисықты сызып алыңыздар.

3.  $R_2$  резистордың кедергісін жайлап өзгерте отырып, генератор тербелісінің амплитудасы мен жиілігі қалай өзгередінін бақылаңыздар. Екі-үш қисық сызыңыздар.

4.  $R_2$  резистордың тұтқасын ортаңғы жағдайға келтіріп қойыңыздар.  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  конденсаторын кезекпен қоса отырып, тәжірибені қайталаңыздар.

5. Осциллографты ажыратып тастап,  $R_2$  резисторының кедергісін мейлінше арттырыңыздар, содан соң  $C_3$  конденсаторды қосыңыздар. Секундомердің көмегімен неон лампысының 25 рет ұшқын беруге кеткен уақытын анықтаңыздар, содан соң тербеліс жиілігін және периодын есептеңіздер.

6. Қ о с ы м ш а т а п с ы р м а.  $R_1$  резисторынан осциллографқа кернеу беріңіздер. Бұл кернеу токқа пропорционал. Кернеу мен токтың қисығын салыстырыңыздар.

Жазбаша мәлімет бергенде генератордың қандай параметрлерінің кернеу амплитудасына әсері зор болатыны және тербеліс жиілігінің осы параметрлердің шамасына тәуелділігі қандай екенін көрсетіп жазыңыздар.

## № 7 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

### Тиратронды уақыт релесі

**Жұмыстың мақсаты:** суық катодты тиратронды уақыт релесін құрастыру және сынау.

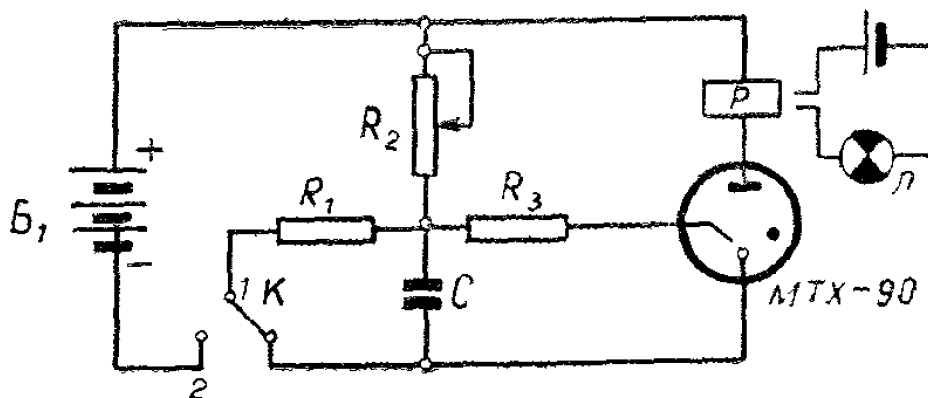
**Приборлар мен жабдықтар:** радио детальдар бекітілген шасси және МТХ-90 тиратрон, ток көзі, секундомер, екі жағдайда тұратын кілт, электромагнит, реле, сигналдық лампы.  $R_2$  резисторының тұтқасы шкаламен (107-сурет) жабдықталған.

### Жұмысты орындау программасы

1. Реленің жұмыс принципі мынадай (107-сурет):  $K$  кілті (2) жағдайда тұрғанда  $C$  конденсаторы зарядталады. Конденсатордағы кернеу тиратронның жану деңгейіне жеткен кезде, ол жанады да,  $P$  реле жұмыс істейді және  $L$  сигналдық лампы жанады. Құрастырылған тетікті қалыпты жағдайға келтіру үшін  $K$  кілтін (1) орынға ауыстыру керек; сонда  $C$  конденсатор  $R_1$  резисторы арқылы разрядталады. Уақыт аралығы  $R_2$  резисторымен реттеледі.

Реленің жұмыс принципімен танысқаннан кейін тетікті монтаждауды орындаңыздар.

2. Реленің жұмысын сынаңыздар.  $R_2$  резисторы-



107-сурет. Тиратронды уақыт релесі.

ның шкаласын градуирлеңіздер: әр жолы  $K$  кілтін (2) жағдайға қойып, секундомерді іске қосып,  $L$  лампының жанатын уақытын анықтаңыздар. Сүйір ұшталған қарындашпен шкаланың тиісті бөлігіне белгі салыңыздар.

3. Қ о с ы м ш а т а п с ы р м а. Градуирлеуші қисықты салыңыздар. Абсцисса осінің бойына  $R_2$  резистор шкаласының бөлінуін, ал ордината осіне — секундпен алынған уақытты өлшеп салыңыздар.

## № 8 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

### Электронды лампылы төменгі жиілікті күшейткіш

**Жұмыстың мақсаты:** екі каскадты төменгі жиілікті күшейткіштің схемасын зерттеп білу және жұмыста сынау.

**Приборлар және жабдықтар:** вертикаль панельге құрастырылған екі каскадты төменгі жиілікті күшейткіш («Электродело» заводы шығарады), репродуктор, электр ойнатқыш (проигрыватель), микрофон, ВК-3 кенотрон түзеткіш.

### Жұмысты орындау программасы

1. Күшейткіштің монтажын құрастырыңыздар. Кернеуді күшейту каскадын және қуатты күшейту каскадын табыңыздар. Күшейткіште қандай лампылар қолданылғанын, жеке детальдардың атқаратын қызметін анықтаңыздар.

2. Күшейткішке репродукторды, электр ойнатқышты, түзеткішті қосыңыздар.

3. Қондырғының құрастырылуының дұрыстығын мұғалім тексергеннен кейін, күшейткішті грамжаздан қайыра дыбыс шығару режимінде байқап көріңіздер. Дыбыс қаттылығын реттеу жұмысын тексеріңіздер. Дыбысты барынша күшейтіп шығарғанда кү-

шейткіштің сызықтық емес бұрмалауының бар-жоқтығын дыбысына қарап анықтаңыздар.

4. Күшейткішті микрофонға қосып байқаңыздар.

5. Жазбаша мәліметте күшейткішті сынау нәтижесіне баға беріңіздер, күшейткішті және оның монтажын пайдаланып, принциптік схемасын жасаңыздар. Жеке детальдарының атқаратын қызметін және екі каскадтың жұмыс принципін қысқаша баяндап жазыңыздар.

## № 9 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

Транзисторларда төменгі жиілікті күшейткішті құрастыру және сынау

**Жұмыстың мақсаты:** транзисторда төменгі жиілікті құрастыру жөніндегі монтаждау жұмыстарымен таныстыру және оның жұмысын сынау.

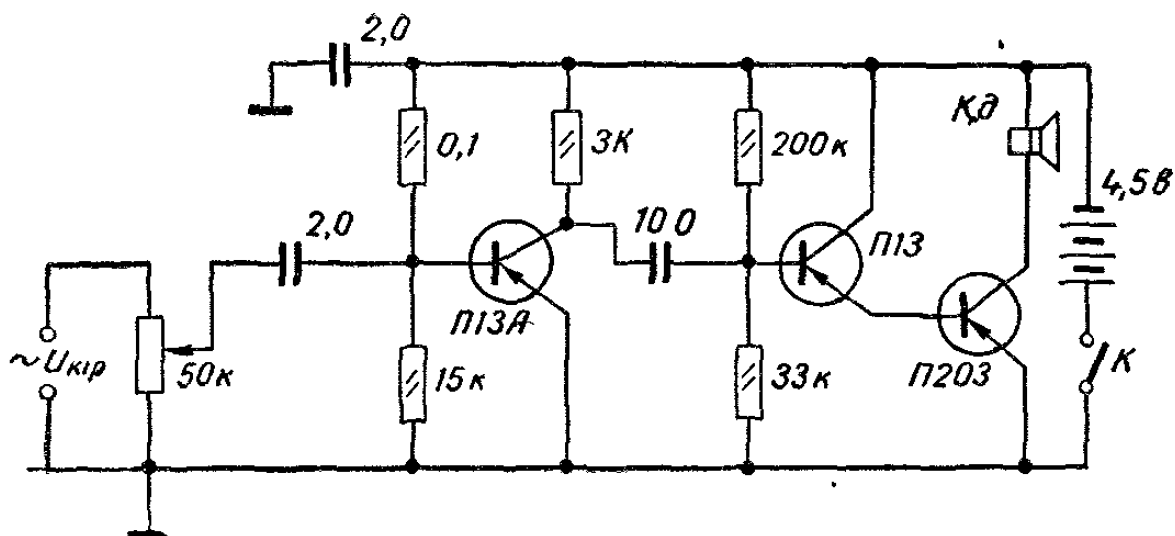
**Приборлар мен жабдықтар:** шасси, аккумулятор, резисторлар мен конденсаторлар, транзисторлар (П13 және П203), репродуктор (мысалы, ДЭМ-4М капсулін пайдалануға болады, бұл жағдайда П203 триодын П13 немесе П15 транзисторымен алмастыру керек), электр ойнатқыш, микрофон, монтаждық сымдар, пышақ, пинцет, дәнекерлегіш, дәнекер, конифоль, авометр.

### Жұмысты орындау программасы

1. Күшейткіштің принципиальды схемасын пайдаланып (108-сурет), қажетті резисторлар мен конденсаторлар тандап алыңыздар. Оларды авометрдің көмегімен тексеріңіздер.

2. Өткізгіштер мен детальдардың қосылған жерлерін мұқият дәнекерлей отырып, күшейткіштің монтажын орындаңыздар.

3. Монтаждың дұрыстығын мұғалім тексергеннен кейін, күшейткіштің жұмысын грамжазбадан дыбыс



108-сурет. Транзисторлардағы төмен жиілікті күшейткіштің схемасы.

шығарып тексеріңіздер. Дыбыс қаттылығын, реттегіштің жұмысын тексеріңіздер.

Бірінші транзистор базасына ығысу беретін тізбектегі резисторды (15 ком) бөлек алып тастаңыздар. Бұл күшейткіштің жұмысына қандай әсер етеді?

4. Бөлек алынған резисторды қайыра дәнекерлеңіздер. Күшейткіштің кірісіне микрофондық трансформатор арқылы микрофон жалғастырыңыздар. Күшейткіштің осы режимдегі жұмысына баға беріңіздер

## № 10 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

Шала өткізгішті приборлары бар аппаратуралар құрастыру

**Жұмыстың мақсаты:** шала өткізгішті приборларда түрлі автомат және радиотехникалық тетіктерді практика жүзінде құрастыру және оларды тексеріп байқау.

**Приборлар мен жабдықтар:** РК-1 радиоконструктор, авометр, ток көзі.

## Жұмысты орындау программасы

1. Бұл жұмыстағы практикалық тапсырмалар РҚ-1 типті радиоконструкторы негізінде орындалады. Бұл радио детальдар мен шала өткізгішті приборлар жиынтығы мыналарды құрастыруға мүмкіндік береді:

### **А. Бес автомат тетікті:**

- мәрелік автомат тетік;
- фотореле;
- уақытты бастап санаушы автомат;
- автомат ауыстырып қосқыш;
- дыбыстық генератор.

### **Б. Тікелей күшейтетін бес радиоқабылдағыш;**

- детекторлы қабылдағыш;
- 0 — V — 2 типті тікелей күшейтуші қабылдағыш;
- 1 — V — 1 қабылдағыш;
- 1 — V — 2 қабылдағыш;
- рефлексті схема бойынша 1 — V — 3 қабылдағыш

Жұмысқа кіріспес бұрын мұғалімнен қандай тетік құрастырып, оның жұмысын сынау керектігін сұрап анықтап алыңыздар.

2. РҚ-1 жиынтықтың заводтық инструкциясы бойынша сол құрастыратын тетіктеріңнің принципальды схемасымен және жұмыс принципімен танысыңыздар. Жиынтықтан қажетті детальдарды таңдап алыңыздар. Авометрдің көмегімен олардың жарамдылығын тексеріңіздер.

3. Радио жиынтықтағы монтаждық панельге конструкцияны құрастыруды орындаңыздар.

4. Монтаждың дұрыстығын мұғалім тексергеннен кейін, оны ток көзіне қосып, құрастырылған апаратың жұмысын тексеріп көріңіздер.

Жазбаша мәлімет бергенде сынаудың нәтижесін жазыңыздар.

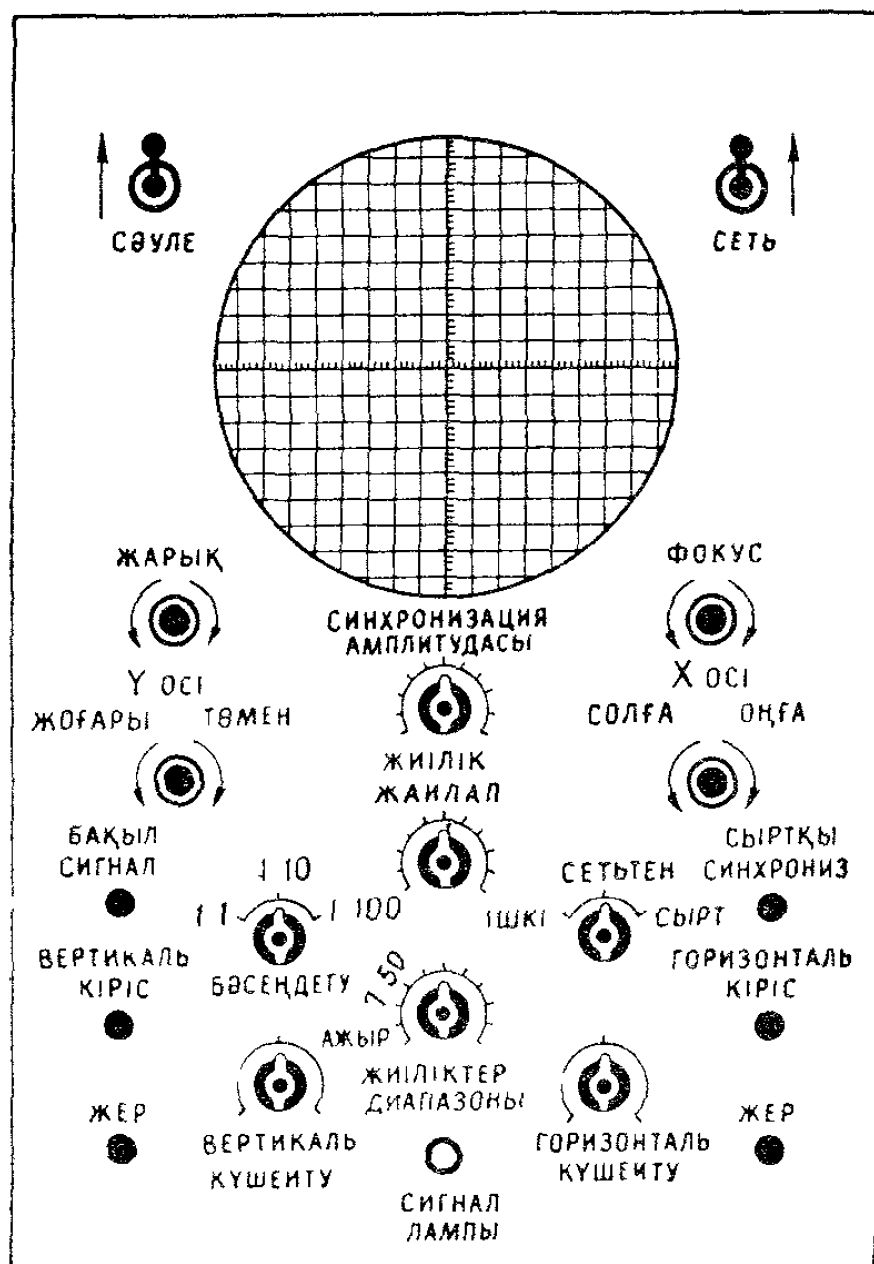
Жұмыс біткеннен кейін, құрастырылған конструкцияны бөлшектеп, радио детальдарды қорапқа салыңыздар.

## № 11 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

### Электронды осциллографты зерттеп білу

**Жұмыстың мақсаты:** осциллографтың жұмысымен және оны пайдалану жолымен танысу.

**Приборлар мен жабдықтар:** осциллограф, мектептік төмендеткіш трансформатор.



109-сурет. Осциллографты басқару панелі.

## Жұмысты орындау программасы

1. Заводтық нұсқауы бойынша осциллографтың құрылыс схемасымен танысу. Прибордың панелі бетіндегі басқару тұтқаларының орналасуына қарап, олардың әрқайсысының атқаратын қызметін анықтаңыздар (109-сурет).

2. Осциллограф күшейткішінің реттеуші тұтқасын нольдік қалыпқа, ал «жарықтық» және «фокустаушы» тұтқаларды сол жақ ең шеткі қалыпқа қойыңыздар. Приборды қосыңыздар. Осциллографтың лампылары қызғаннан кейін экрандағы жарықтықты және дақты фокустауды реттеңіздер. Дақты экранның ортасына келтіріңіздер. (Бұны қалай орындауға болады)?

3. Вертикаль күшейткіштің кірісіне мектептік төмендетуші трансформатордың шығысынан 6,3 в кернеу беріңіздер. Жаймалауды қажетті жиілікке келтіріп қойыңыздар және экранда синусоиданың қозғалмайтын кескінін алыңыздар. Алынған кескіннің масштабын қалай өзгертуге болады?

4. Осциллографтың көмегімен кернеуді өлшеңіздер (осы құралдың 137-пунктін қараңыздар).

Жазбаша мәлімет бергенде осциллографтың қолданылу мүмкіндіктерін көрсетіңіздер.

## № 12 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

### Электрон лампыларды сынау

**Жұмыстың мақсаты:** ИЛ-13 (ИЛ-14) типті лампы сынайтын прибормен танысу, лампылардың екі-үш типтерінің жарамдылығын тексеру.

**Приборлар мен жабдықтар:** ИЛ-13 немесе ИЛ-14 типті лампы сынайтын прибор, сыналатын лампылардың үлгілері.



## Жұмысты орындау программасы

1. ИЛ-13 (немесе ИЛ-14) приборының заводтық нұсқауы бойынша приборды пайдалану ережесімен танысу. Бұл прибор ең көп қолданылатын қабылдаушы-күшейтуші лампылар мен шағын қуатты кенотрондардың жарамдылығын жобалап тексеру үшін қолданылады. Лампыларды сынау арнаулы карталар бойынша жүргізіледі. Жарамдылығы стрелкалы прибор шкаласы бойынша анықталынады. Оның шкаласында: «Жақсы», «Күдікті» және «Нашар» деп жазылған үш зона бар.

2. Сыналатын лампылар үшін перфокартаны іздеп табыңыздар. Приборды қосыңыздар. Қартаны штепсельдік коммутаторға қойыңыздар да, оған лампыны орнатыңыздар.

«Өлшеу» кнопкасын басып, лампының жарамдылығын анықтаңыздар.

Жазбаша мәлімет бергенде сыналған лампылардың қайсысы жарамды, ал қайсысы жарамсыз екенін атап көрсетіңіздер.

---

## ОҚУШЫЛАР РЕФЕРАТТАРЫНЫҢ ТАҚЫРЫПТАРЫ (ҮЛГІ ТІЗБЕ)

Рет №	Тақырыптары	Әдебиеттер
1	Электронның ашылуы	Ә11, Ә17
2	Джоуль-Ленц заңын классикалық электрондық теория негізінде қорыту	Ә12, Ә21, Ә26
3	Фотоэлектрондық эмиссия	Ә8, Ә6, Ә21, Ә22
4	Туннельдік диодтар	Ә3, Ә6, Ә8
5	Активтелінген катодтар физикасы	Ә5, Ә17, Ә26
6	Триодтың динамикалық характеристикасы	Ә8, Ә10, Ә25
7	Тұрақты токты күшейткіштер	Ә9, Ә21
8	Электрон спині	Ә12, Ә25, Ә38
9	Телевидениенің негізгі принциптері	Ә13, Ә21, Ә28
10	Лампылардың параметрлерін графикалық жолмен анықтау	Ә8, Ә21, Ә24
11	Диодтың электр өрісі және потенциалдық диаграммасы	Ә8, Ә9, Ә21
12	Триодтың потенциалдық диаграммасы	Ә8, Ә9
13	Күшейткіштердегі кері байланыстар	Ә9, Ә21
14	Стабилитрондар және бареттерлер	Ә8, Ә9, Ә21
15	Транзистор режимін стабилдендіру	Ә8, Ә9, Ә21
16	Транзисторлардың екінші реттік параметрлері	Ә8, Ә21
17	Электрондар мен кемтіктердің қозғалғыштығы	Ә6, Ә20, Ә25
18	Термоэлектр	Ә5, Ә22, Ә25
19	Электрондық лампылардың характеристикалары кескінін осциллограф экранында алу	Ә14, Ә19, Ә26
20	Шала өткізгішті диодтар мен триодтардың характеристикалары кескінін осциллограф экранында алу	Ә14, Ә19, Ә26
21	Заттардың плазмалық күйі	Ә22, Ә31, Ә34
22	Рика және Толмен-Стюарт тәжірибесі	Ә11, Ә22, Ә33
23	Шала өткізгіштердегі плазмалық құбылыстар	Ә5, Ә6, Ә8, Ә25
24	Кванттық генераторлар	Ә25, Ә27

Рег №	Тақырыптары	Әдебиеттер
25	Қатты денелердің құрылысы туралы жаңалықтар	Ә15, Ә17
26	Академик А. Ф. Иоффе	Ә16, Ә29
27	Александр Степанович Попов	Ә9, Ә10, Ә16
28	Атомдар энергияларының өзгеруінің дискретті сипатын газотронның көмегімен демонстрациялау	Ә30, Ә35
29	Неон лампысымен тәжірибе	Ә37
30	Электромагниттік толқындар қасиеттерін зерттеуге арналған приборлар комплектісімен тәжірибе	Ә35, Ә36
31	Зарядталған бөлшектердің жылдамдықтарын өлшеу	Ә20
32	Транзисторлы қалта радиоқабылдағышы	Ә23
33	Неон лампылы резонанстық толқын өлшегіш	Ә9, Ә28
34	Осциллографқа қосымша тетік	Ә18
35	Жарамсыздау кинескоптан жасалған осциллограф	Ә32
36	Универсал электронды прибор	Ә33
37	Планк тұрақтысын анықтау	Ә2
38	Фотоэлектрлік метроном	Ә7
39	Электронды уақыт релесі	Ә1, Ә4, Ә36

### РЕФЕРАТТАР ТАҚЫРЫБЫНЫҢ ӘДЕБИЕТТЕРІ

- Ә1. К. Айманов. Элементы автоматики и телемеханики в курс физики средней школы, изд. АПН РСФСР, М., 1963 г.
- Ә2. Л. И. Анциферов. Определение постоянной Планка, в кн «Физический эксперимент в школе», вып. 3, изд. «Просвещение», М., 1966 г.
- Ә3. И. Г. Бергельсон и др., Современные приемно-усилительные лампы, изд. «Советское радио», М., 1967 г.
- Ә4. В. М. Большов. Электронное реле времени Госэнергоиздат М., 1958 г.
- Ә5. В. И. Гапонов. Электроника, ч. I. Физматгиз. М., 1960 г.
- Ә6. В. Г. Герасимов и др. Основы промышленной электроники изд. «Высшая школа». М., 1969 г.

- Э7. А. Ф. Городецкий, А. Ф. Кравченко. Полупроводниковые приборы, изд. «Высшая школа», М., 1967 г.
- Э8. Г. С. Дамаев. Фотоэлектрический метроном, в кн. «Сборник по методике и технике физического эксперимента», Учпедгиз, М., 1960 г.
- Э9. И. П. Жеребцов. Основы электроники, изд. «Энергия», М., 1967 г.
- Э10. И. П. Жеребцов. Радиотехника, изд. «Связь», М., 1965 г.
- Э11. А. А. Зворыкин и др., История техники. Соцэкономгиз, М., 1962 г.
- Э12. С. Г. Калашников. Электричество, Гостехиздат, М., 1964 г.
- Э13. Н. В. Кашин. Курс физики, ч. III, Учпедгиз, М., 1965 г.
- Э14. К. Т. Колин и др. Основы телевидения, изд. «Связь», М., 1967 г.
- Э15. А. В. Кортнев и др. Практикум по физике, изд. «Высшая школа» М., 1965 г.
- Э16. Квантовая физика и твердое тело (выпуск 20 серии брошюр «Новое в жизни, науке и технике»), изд. «Знание», М., 1966 г.
- Э17. П. С. Кудрявцев, И. Я. Конфедератор. История физики и техники, изд. «Просвещение», М., 1965 г.
- Э18. В. И. Лихтман. Новое в учении о твердом теле, журн. «Физика в школе», № 3, 1960 г.
- Э19. В. Ю. Миргородский. Универсальная приставка к осциллографу, журн. «Физика в школе», № 3, 1960 г.
- Э20. Д. Полянина. Демонстрации на лекциях по электротехнике и радиотехнике, Учпедгиз, М., 1963 г.
- Э21. К. А. Путилов. Курс физики, ч. II. Физматгиз, М., 1962 г.
- Э22. З. М. Пруслин, М. А. Смирнова. Радиотехника и электротехника, изд. «Высшая школа», М., 1968 г.
- Э23. В. Г. Разумовский, С. Я. Шамаш. Изучение электроники в курсе физики средней школы, изд. «Просвещение», М., 1968 г.
- Э24. Журналы «Радио».
- Э25. А. А. Соколов. Основы электроники, Профтехиздат, М., 1962 г.
- Э26. М. С. Соминский. Полупроводники, изд. «Наука», Л., 1967 г.
- Э27. В. Я. Соловьев. Осциллографические измерения, изд. «Энергия» М., 1968 г.
- Э28. Успехи физических наук (выпуск 17 серии брошюр «Новое в жизни, науке и технике»), изд. «Знание», М., 1965 г.
- Э29. В. П. Усик, и др., Методическое пособие к лабораторным работам по электротехнике», ч. III., К., 1968 г.
- Э30. Журн. «Физика в школе», № 4, М., 1960 г.
- Э31. Журн. «Физика в школе» № 1, 1963 г.

- Э32. *Д. А. Франк-Каменецкий*. Плазма — четвертое состояние вещества, Атомиздат, М., 1968 г.
- Э33. *В. Т. Чернышевский*. Осциллограф из неполноценного кинескопа, в кн. «Физический эксперимент в школе», вып. 3, изд. «Просвещение», М., 1966 г.
- Э34. *В. Т. Чернышевский*. Универсальный электронный прибор, в кн. «Физический эксперимент в школе», вып. 3, изд. «Просвещение», М., 1966 г.
- Э35. *С. Я. Шамаш*. Методика изучения электрического тока в газах, журн. «Физика в школе», № 5, 1967 г.
- Э36. *Шахмаев И. М., Каменецкий С. Е.*, Демонстрационные опыты по электричеству, Учпедгиз, М., 1963 г.
- Э37. *Н. М. Шахмаев*. Оборудование кабинета физики с электротехнической лабораторией, изд. АПН СССР, М., 1962 г.
- Э38. *В. Ф. Шилов*. Опыты по электричеству с неоновой лампой МН-3, журн. «Физика в школе», № 6, 1968 г.
- Э39. Элементарный учебник физики, ч. III., под ред *Г. С. Ландсберга*. Физматгиз, М., 1965 г.
-

Мектеп № \_\_\_\_\_

Класс \_\_\_\_\_

Оқушының фамилиясы, аты \_\_\_\_\_

---

№ \_\_\_\_\_ лабораториялық жұмыс бойынша  
жазбаша мәлімет

---

(жұмыстың аты)

Күні \_\_\_\_\_

Қойылған баға \_\_\_\_\_

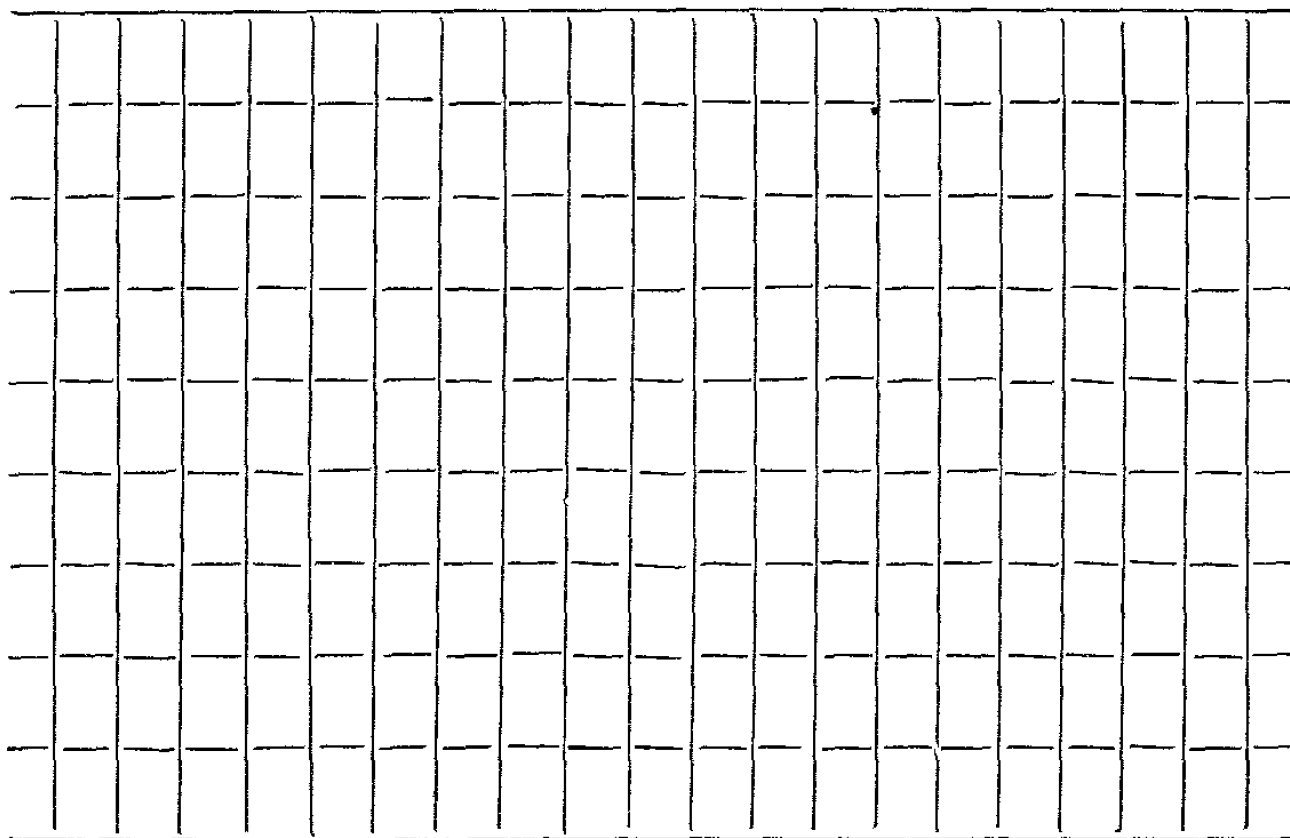
Мұғалімнің қолы \_\_\_\_\_







V. Графиктер



VI. Қорытындылар

---

---

---

---

---

---

---

---

Оқушының қолы \_\_\_\_\_

Күні «    » \_\_\_\_\_ 197 ж.

# ЕСЕПТЕРДІҢ ЖАУАПТАРЫ

## I тарау

30. 0,021 эв; 21 эв.  
32.  $2,15 \cdot 10^{-18}$  дж.  
33.  $0,53 \cdot 10^{-10}$  м; 2190 км/сек,  
51 в/м  
34. 10,15 эв 35. Екінші деңгейге  
36. 2537 А°; 1850 А°, 1403 А°  
37. 8,4 в; 8,4 эв.  
40. 389,9 в.  
41. 82 900 в 820 в  
42.  $173 \cdot 10^{-4}$  м  
43.  $\frac{F_{кул}}{F_{гp}} = 2,25 \cdot 10^{39}$ .

## II тарау

- 1—4 - параграфтарға  
11.  $625 \cdot 10^{22}$ .  
12. 0,176 м/сек  
13. 114 км/сек  
14.  $2,36 \frac{a}{мм^2}$   
15. 4,8 а.  
5—7 - параграфтарға  
12.  $10^{14} см^{-3}$   
14. -6,4 в  
8—9 - параграфтарға  
7. 9,2 эв  
8. 15,5 эв.  
9. Иэ  
10. 3000 А°.  
10—13 - параграфтарға  
12.  $9,25 \cdot 10^{13}$ .  
13.  $3,2 \frac{a}{см^2}$   
14. 0,28 а.  
16.  $K = 10^{-4}$   
17. 39.  
14—19 - параграфтарға  
14.  $2,2 \cdot 10^5$  м/сек  
15.  $1,9 \cdot 10^6$  м/сек.  
16. 12 мм.  
17. 4,15 в.  
18. 1 ом  
20 - параграфқа  
6.  $1,6 \cdot 10^{-19}$  к;  $1,76 \cdot 10^{11}$  м/сек<sup>2</sup>.  
7. 100 в/м, 2,8 см  
8.  $5,57 \cdot 10$  в/м<sup>-11</sup>  
9. 100 в.  
10. 98 км/сек;  $10^{11}$  есе;  
 $4,10^{-7}$  сек  
11.  $10^8$  м/сек<sup>2</sup>; 16,9 км/сек;  
 $36^{\circ}30'$ .  
12. 6150 км/сек  
13.  $1,6 \cdot 10^{-12}$  н  
14.  $9,7 \cdot 10^{-3}$  тл  
15.  $R = 25 \cdot 10^{-5}$  м,  
 $h = 2,7 \cdot 10^{-4}$  м.

## III тарау

- 1—5 - параграфтарға  
15. 2 а  
16. 0,05 а.  
6—9 - параграфтарға  
13. 25, 0,04.  
14. 16  
10—11 - параграфтарға  
13. 7; 10,5, 4,2  
15. 5 ма  
16. 15.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе . . . . .	3
-------------------	---

### I тарау

#### Атомның құрылысы және зоналық теория туралы ұғым

§ 1. Резерфордтың альфа-бөлшектердің шашырауы жөніндегі тәжірибесі . . . . .	7
§ 2. Атом құрылысының планетарлық моделі . . . . .	10
§ 3. Резерфорд теориясының кемістігі . . . . .	11
§ 4. Бордың кванттық постулаты . . . . .	12
§ 5. Атомның энергетикалық деңгейлері . . . . .	14
§ 6. Франк пен Герц тәжірибелері . . . . .	15
§ 7. Иондау энергиясы . . . . .	18
§ 8. Паули принципі . . . . .	19
§ 9. Атом ядросы. Электрондық қабықтар . . . . .	20
§ 10. Зоналық теория туралы ұғым . . . . .	22
§ 11. Кристалдардағы электрондық байланыс . . . . .	25
Бақылау сұрақтары. Есептер . . . . .	27

### II тарау

#### Электр өткізгіштің табиғаты

§ 1. Классикалық электрондық теория туралы . . . . .	30
§ 2. Тізбектің бөлігі үшін Ом заңын электрондық ұғым негізінде қорыту . . . . .	31
§ 3. Электрондық теорияның шектелуі . . . . .	34
§ 4. Денелердің электр өткізгіштігінің зоналық теориясы . . . . .	36
§ 5. Шала өткізгіштердің қоспалы өткізгіштігі . . . . .	41
§ 6. Электронды-кемтікті ауысудың қасиеттері . . . . .	44
§ 7. $n - p - n$ ауысудың қасиеті . . . . .	48
§ 8. Электрондық эмиссия . . . . .	51
§ 9. Электрондардың шығу жұмысы . . . . .	52
§ 10. Термоэлектрондық эмиссия . . . . .	54
§ 11. Қарапайым және күрделі катодтар . . . . .	56
§ 12. Диодтың вольт-амперлік характеристикасы . . . . .	60
§ 13. Триодтың анод-торлық характеристикасы . . . . .	63

§ 14.	Газдағы электр разряды . . . . .	66
§ 15.	Солғын разряд . . . . .	68
§ 16.	Солғын разрядтың вольт-амперлік характеристикасы	71
§ 17.	Иондық приборлардағы доғалық разряд . . . . .	73
§ 18.	Жағу потенциалын басқару . . . . .	74
§ 19.	Заттың плазмалық күйі . . . . .	76
§ 20.	Зарядталған бөлшектердің электр және магнит өріс- теріндегі қозғалысы . . . . .	77
	Бақылау сұрақтары. Есептер . . . . .	83

### III т а р а у

#### Электрондық приборлар және олардың қолданылуы

§ 1.	Екі электродты электрондық лампы . . . . .	91
§ 2.	Газотрон . . . . .	97
§ 3.	Неондық лампы . . . . .	100
§ 4.	Шала өткізгішті диодтар . . . . .	101
§ 5.	Түзеткіштер . . . . .	105
§ 6.	Вакуумдық триодтар . . . . .	111
§ 7.	Тиратрондар . . . . .	116
§ 8.	Транзисторлар . . . . .	119
§ 9.	Көп электродты және ұластырылған электродтық лам- пылар . . . . .	123
§ 10.	Реле . . . . .	126
§ 11.	Күшейткіштер . . . . .	127
§ 12.	Релаксациялық тербелістер генераторы . . . . .	134
§ 13.	Электрондық-сәулелік түтік . . . . . Осциллограф . . . . .	135
§ 14.	Элементар бөлшектер счетчигі . . . . . Бақылау сұрақтары. Есептер . . . . .	140 142

### IV т а р а у

#### Лабораториялық жұмыстар

	<i>Лабораториялық жұмыстарды орындау туралы</i>	146
	<i>Экспресс-бақылау бойынша программаланған тап- сырмалар орындау . . . . .</i>	149
	№ 1 лабораториялық жұмыс Ксенон атомдарының козу потенциалдарын анықтау	151
	№ 2 лабораториялық жұмыс Электронның меншікті зарядын анықтау . . . . .	152
	№ 3 лабораториялық жұмыс Шала өткізгішті диодтың вольт-амперлік характе- ристикасын алу . . . . .	154
	№ 4 лабораториялық жұмыс Триодтың анодтық-торлық характеристикасын алу	155
		179

№ 5 лабораториялық жұмыс	
Кенотрон түзеткіштің жұмысын зерттеу . . . . .	157
№ 6 лабораториялық жұмыс	
Релаксациялық тербелістер генераторын құрастыру және сынап білу . . . . .	159
№ 7 лабораториялық жұмыс	
Тиратронды уақыт релесі . . . . .	161
№ 8 лабораториялық жұмыс	
Электронды лампылы төменгі жиілікті күшейткіш . . . . .	162
№ 9 лабораториялық жұмыс	
Транзисторларда төменгі жиілікті күшейткішті құрастыру және сынау . . . . .	163
№ 10 лабораториялық жұмыс	
Шала өткізгішті приборлары бар аппаратуралар құрастыру . . . . .	164
№ 11 лабораториялық жұмыс	
Электронды осциллографты зерттеп білу . . . . .	166
№ 12 лабораториялық жұмыс	
Электрон лампыларды сынау . . . . .	167
1-қосымша. Оқушылар рефераттарының тақырыптары (үлгі тізбе) . . . . .	169
Рефераттар тақырыбының әдебиеттері . . . . .	170
2-қосымша . . . . .	173
Есептердің жауаптары . . . . .	177