

Ə.Ş.ABDİNOV, İ.S.HƏSƏNOV, T.X.HÜSEYNOV

**ELEKTRON CİHAZLARI
VƏ EMİSSİYA
ELEKTRONİKASININ
ƏSASLARI**

(Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti)

*Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin
30.06.2010-cu il tarixli 992 №-li əmri ilə
təsdiq olunub.*



BAKI – 2011

Elmi redaktor: **Ş.Q.Əsgərov**
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

Rəyçilər: **R.T.Hümbətov**
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

A.H.Kazımsadə
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

Y.Q.Nurullayev
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

Y.Y.Hüseynov
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

245433

621.3
+ A14

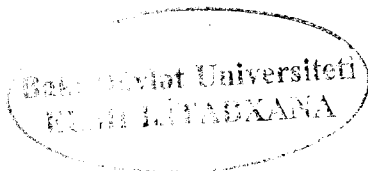
Abdinov Ə.Ş., Həsənov İ.S., Hüseynov T.X.

A14 Elektron cihazları və emissiya elektronikasının
əsasları (Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti). Bakı,
«Təhsil», 2011, 360 səh.

Dərs vəsaiti ali məktəblərin fizika, fizika müəllimi, radiofizika, radioelektronika, elektronika, rabitə, cihazqayırma ixtisas və istiqamətlərində təhsil alan tələbələri (bakalavr və magistrantlar) üçün nəzərdə tutulub. Burada elektrovakuum, ion və yarımqeçirici cihazların, elektron optikası element və sistemlərinin quruluşunun, iş prinsipinin, eləcə də elektron emissiyası hadisəsinin fiziki əsasları yığcam, lakin bitkin, dolğun və böyük informasiya tutumuna malik şəkildə öz əksini tapıb.

Kitabdan ali və orta ixtisas təhsili məktəblərinin müəllimləri, elmi işçilər, doktorantlar, laborant və mühəndislər də bəhrələnmə bilərlər.

4306020170
A 053 2011



© «Təhsil», 2011

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ.....	7
------------	---

I HISSƏ

Emissiya elektronikasının əsasları	12
--	----

FƏSİL 1.1.

Emissiya hadisələrinin təsnifatı.....	13
§ 1.1.1. Elektronların bərk cisimdən emissiyası.....	13
§ 1.1.2. Kombinasiyalı emissiya.....	18

FƏSİL 1.2

Termoelektron emissiyası.....	19
§ 1.2.1. Tam çıxış işi	19
§ 1.2.2. Termoelektronların enerjilərə görə paylanması.....	23
§ 1.2.3. Katodun emissiya ləkəliyi.....	31
§ 1.2.4. Çıxış işinin və Riçardson sabitinin təcrübi yolla təyini ..	33
§ 1.2.5. Termoelektronların sürətlərə görə paylanması.....	36
§ 1.2.6. Sürətləndirici elektrik sahəsinin termoelektron emissiyasına təsiri.....	38
§ 1.2.7. Təbəqəli katodlar	42
§ 1.2.8. Termoelektron katodları üçün anomal Şottki effekti	48
§ 1.2.9. Oksid katodların emissiya tənliyi.....	50

FƏSİL 1.3

Avtoelektron emissiyası	56
§ 1.3.1. Avtoelektron emissiyası hadisəsi	56
§ 1.3.2. Avtoelektron emissiyası tənliyi	60

FƏSİL 1.4

Fotoelektron emissiyası.....	68
§ 1.4.1. Fotoelektronların enerjiyə görə paylanması.....	68
§ 1.4.2. Metal fotokatodların spektral xarakteristikası	75

FƏSİL 1.5

İkinci elektron emissiyası	81
§ 1.5.1. Metal və yarımqeçirici katodlarda ikinci elektron emissiyası	81
§ 1.5.2. Anomal ikinci elektron emissiyası	85

II HİSSƏ

Elektrovakuum və ion cihazları. Elektron optikasının əsasları .. 88

FƏSİL 2.1

Elektro vakuum cihazları	90
§ 2.1.1. Elektrovakuum diodu	90
§ 2.1.2. Elektrovakuum triodu	98
§ 2.1.3. Çoxelektrodlu elektrovakuum lampaları	107
§ 2.1.4. Yüksək tezlikli və ifrat yüksək tezlikli elektrovakuum lampaları	117
§ 2.1.5. Xüsusi təyinatlı elektrovakuum lampaları	122
§ 2.1.6. Elektrovakuum lampalarında küy	123
§ 2.1.7. Fotoelektron cihazları	130

FƏSİL 2.2

İon cihazları	136
§ 2.2.1. Qazlarda elektrik boşalmaları	136
§ 2.2.2. Bəzi ion cihazları	141
§ 2.2.3. İon mənbələri	146

FƏSİL 2.3

Elektron optikasının əsasları	151
§ 2.3.1. Elektron optikasının əsas prinsipləri	151
§ 2.3.2. Elektrostatik linzalar	164
§ 2.3.3. Maqnit linzalar	170
§ 2.3.4. Sürətləndirici Pirs sistemləri	174
§ 2.3.5. Brillüen dəstəsi	177
§ 2.3.6. Elektron mikroskopu və ion proyektoru	181
§ 2.3.7. Elektron proyektoru	186
§ 2.3.8. Meylətdirici sistemlər	190
§ 2.3.9. Lüminessent ekranlar	196

§ 2.3.10. Qəbuledici televiziya boruları – kineskoplar	201
§ 2.3.11. Yaddaşlı elektron-şüa boruları	206
§ 2.3.12. Elektron-optik çeviricilər və xəyal parlaqlığının gücləndiriciləri	210

III HİSSƏ

Elektrik keçidləri.....	213
-------------------------	-----

FƏSİL 3.1

Elektron-deşik keçidi ($p-n$ keçid)	215
§ 3.1.1. $p-n$ keçid: əmələ gəlməsi və əsas parametrləri	215
§ 3.1.2. $p-n$ keçidə xarici elektrik sahəsinin təsiri	220
§ 3.1.3. $p-n$ keçidin növləri	227
§ 3.1.4. $p-n$ keçidin tutumu	230
§ 3.1.5. $p-n$ keçidin dəşilməsi.....	234

FƏSİL 3.2

Metal-yarımkeçirici kontaktları və heterokeçidlər	240
§ 3.2.1. Metal-yarımkeçirici kontaktı – Şottki keçidi	240
§ 3.2.2. Omik kontaktlar	244
§ 3.2.3. Heterokeçidlər.....	247

IV HİSSƏ

Yarımkeçirici cihazlar	253
------------------------------	-----

FƏSİL 4.1

Yarımkeçirici diodlar	256
§ 4.1.1. Düzəldirici, yüksək tezlik və ifrat yüksək tezlik diodlar	257
§ 4.1.2. İmpuls diodu	263
§ 4.1.3. Stabilitron	266
§ 4.1.4. Tunel diodu və çevrilmiş diod.....	270
§ 4.1.5. Varikap	277

FƏSİL 4.2

Tranzistorlar	283
---------------------	-----

§ 4.2.1. Bipolyar tranzistor	284
§ 4.2.2. Dreyf tranzistoru	293
§ 4.2.3. Unipolyar tranzistor	296
§ 4.2.4. Tiristorlar	303

FƏSİL 4.3

Yarımkəçirici qeydedicilər və çeviricilər	310
§ 4.3.1. Qann diodu	310
§ 4.3.2. Tenzoelektrik cihazları	317
§ 4.3.3. Maqnit sahəsi qeydediciləri	321

FƏSİL 4.4

İstilik və termoelektrik cihazları	329
§ 4.4.1. Termorezistor	329
§ 4.4.2. Termoelektrik hadisələri. Termoelektrik generatoru....	336
§ 4.4.3. Termoelektrik soyuducusu və qızdırıcısı	347
Bakı Dövlət Universitetinin «Fiziki elektronika» kafedrası	351
Müəlliflər haqqında.....	354
Ədəbiyyat	356

Bu kitabı ali təhsil aldığımız, çalışdığımız, həyatda qazandığımız uğurların əsasında duran Bakı Dövlət Universitetinin «Fiziki elektronika» kafedrasının yaradılmasınının 40 illiyinə həsr edirik.

Müəlliflər

GİRİŞ

Müasir elmi-texniki tərəqqinin, istehsalat və sənayenin uğurlarını, məişət və tibb texnikası sahəsindəki nailiyyətləri elektronikasız təsəvvür etmək mümkün deyil. Digər tərəfdən ayrı-ayrı elm və sənaye sahələrinin inkişafı da elektronikada yeni nailiyyətlərin qazanılmasına təkan verir. Bir sıra hallarda isə ayrı-ayrı elm, texnika, sənaye, istehsalat, səhiyyə məişət sahələrində qarşıya çıxan və həlli zəruri olan problemlər elektronikada yeni ideyaların yaranmasını, yeni kəşflərin və fikirlərin meydana gəlməsini stimullaşdırır.

Elektronika bütövlükdə geniş mənalı və əhatəli bir məfhumdur. Əsl mahiyyəti müxtəlif mühit (maddə), sistem, cihaz və qurğularda baş verən elektron prosesləri, bu proseslərlə bağlı hadisələrin fiziki mahiyyəti, onların tədqiqi və tətbiqi ilə bağlı olan bu elm-texnika sahəsi başlıca olaraq bir-biri ilə sıx qarşılıqlı əlaqəli üç istiqamətdən ibarətdir: fiziki elektronika, texniki elektronika və sənaye elektronikasası. Fiziki elektronika – müxtəlif maddə, sistem, cihaz və qurğulardakı elektron proseslərinin xüsusiyyətlərini aşkar edib öyrənir, onların mümkün tətbiq imkanlarını müəyyənləşdirir və müvafiq təkliflər verir. Texniki elektronika – başlıca olaraq fiziki elektronika tərəfindən irəli sürülmüş bu təklif və ideyalar əsasında yeni cihaz, qurğu və sistemlər işləyir, onların təcrübi, laboratoriya və sınaq nümunələrini hazırlayıb, kütləvi istehsal üçün təqdim etməklə yanaşı, həm də mövcud elektron cihazları və qurğularının təkmilləşdirilməsi məsələləri ilə məşğuldur. Sənaye elektronikasası isə –

texniki elektronika tərəfindən təqdim edilən nümunələr əsasında elektron cihazlarının, yəni iş prinsipi müxtəlif maddə, struktur və sistemlərdə baş verən elektron proseslərinə əsaslanan cihazların kütləvi istehsalı ilə məşğul olur.

Təkcə elə bu deyilənlər göstərir ki, bugünkü elektronikanın əsas qida verici mənbəyi – şah damarı məhz fiziki elektronikadır. Ona görə də fiziki elektronikanın inkişafı, onun təbliği və tədrisi daima əksər ölkələrdə diqqət mərkəzindədir. Bu istiqamətdə müntəzəm olaraq elmi-tədqiqat, axtarış işlərinin aparılması ilə yanaşı, həm də fiziki elektronikanın əsas prinsipləri, müddəa və bölmələri ayrı-ayrı fənlərdə müxtəlif peşə təhsili məktəblərinin tələbə və şagirdlərinə, magistrantlara, aspirantlara, yenidən hazırlama və ixtisasartırma kurslarının dinləyicilərinə tədris olunur. Fiziki elektronika çoxşaxəli bir elm sahəsidir. Onun başlıca bölmələri kimi vakuumda baş verən hadisələrin fizikasını, emissiya elektronikasını, elektron və ion cihazlarının fizikasını, bərk cisimlərin elektronikasını, yarımkeçirici cihazların fizikasını, qaz boşalması və plazma fizikasını, kvant elektronikasını, ifrat yüksək tezliklər elektronikasını, optoelektronikanı, mikro- və nanoelektronikanı, elektron optikasını göstərmək olar.

Bununla belə, elektron emissiyası, müxtəlif kontakt strukturları və onlarda baş verən elektron prosesləri, ayrı-ayrı mühitlərdə generasiya-rekombinasiya hadisələri, elektrik və termoelektrik effektləri mövcud elektron cihazlarının iş prinsipinin əsasını təşkil edir. Məhz buna görə də bərk cisim, vakuum, qaz və plazma fizikası müasir fiziki elektronikanın təməli sayılır.

Həm ayrı-ayrı mühit (maddə) və sistemlərdə baş verən elektron proseslərinə, həm də onların əsasında işləyən müxtəlif cihaz və qurğuların fizikasına dair müxtəlif dillərdə çoxlu sayda monoqrafiyalar, kitablar, dərsliklər və dərs vəsaitləri mövcud olsa da, Azərbaycan oxucuları əksər vaxtlarda ən yaxşı halda rus dilində olan ədəbiyyatdan istifadə

etmişdirlər. Müstəqil, suveren dövlətçilik, Milli özünütəyin və milli qürur prinsiplərindən irəli gələrək, digər sahələrdə olduğu kimi, fiziki elektronika sahəsində də son illərdə Azərbaycan dilində tədris dərslərlər, dərslər vəsaitləri, yazılıb. Bu iş daha geniş oxucu kütləsini bilikləndirməklə, müxtəlif statuslu kitablar yazmağa qadir olan alimlərimizin mövcudluğunu, formalaşdığını göstərməklə yanaşı, həm də dilimizin – Azərbaycan ədəbi dilinin daha da zənginləşməsinə xidmət edir. Belə ki, bu sahədə yazılan hər yeni kitabda onlarla, bəzən isə yüzlərlə sırf elmi, fiziki, texniki və başqa terminlər işlədilir, onların mənası, hərfi tərcüməsi açıqlanır, dilimizdə onlara vətəndaşlıq statusu verilir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu işin məhz dərslərlər, dərslər vəsaitləri yazmaqla həyata keçirilməsi ən düzgün yoldur, çünki dərslər və dərslər vəsaitlərinin oxucu kütləsi daha böyük, dinamik və daima təzələnəndir.

İndiyədək Azərbaycan dilində müxtəlif alim-müəlliflərin “Bərk cisimlər fizikası”, “Yarımkeçiricilərin fizikası”, “Elektron texnikasının materialları”, “Elektron texnikasının materialları və nanotexnologiyanın əsasları”, “Optoelektronika”, “Bərk cisim elektronikasası”, “Fiziki elektronikanın tarixi və metodologiyası”, “Nanotexnologiya”, “İfrat yüksək tezlik elektronikasası”, “Radioelektronikanın əsasları”, “Radiofizika”, “Vakuum texnikasının fiziki əsasları”, “Kvant elektronikasası”, “Dəstə və plazma texnologiyası”, “Elektronika”, “Mikroelektronika”, “Yarımkeçirici çeviricilər” və s. kimi dəyərli dərslər və dərslər vəsaitləri yazılıb çap edilmişdir.

Oxuculara təqdim edilən, “Elektron cihazları və emissiya elektronikasasının əsasları” kitabı isə öz məzmunu, məqsədi, quruluşu ilə bu istiqamətdə Azərbaycan dilində yazılan ilk kitabdır. Bu kitabda şərh olunan məsələlər indiyədək heç Azərbaycan dilinə tərcümə olunmuş kitablarda da öz əksini tapmayıb.

Ali məktəblər üçün dərslər olan bu kitabda elektronikanın əsası sayılan elektron cihazlarının – elektrovakuum,

ion və yarımkeçirici cihazların, elektron optikasının fiziki əsasları öz yığcam, lakin dolğun əksini tapmışdır. Eyni zamanda kitabda həmin cihazların işləməsi üçün əsas işçi elementlərin və hadisələrin – elektron emissiyası hadisələrinə, elektron emitterlərinin (katodların), müxtəlif növ yarımkeçirici elektrik keçidlərinin (kontaktların), bu keçidlərdə baş verən fiziki proseslərin xüsusiyyətlərinə də baxılmışdır.

Dörd hissədən ibarət olan dərsləyin ayrı-ayrı hissələrinin: Emissiya elektronikasının əsasları (I hissə); Elektron və ion cihazları. Elektron optikasının əsasları (II hissə); Elektrik keçidləri (III hissə) və Yarımkeçirici cihazlar (IV hissə) hər biri müstəqil xarakter daşımaqla yanaşı, həm də bir-biri ilə sıx əlaqədə olub, bir-birini tamamlayır.

Kitabın I hissəsi 5 fəsildən ibarətdir. Burada elektron emissiyası hadisəsinin ümumi müddəaları (fəsil 1.1), termo-elektron emissiyası (1.2), avtoelektron emissiyası (1.3), fotoelektron emissiyası (fəsil 1.4) və ikinci elektron emissiyası (fəsil 1.5) hadisələrinin əsas xüsusiyyətləri öz lazımi əksini tapmışdır.

Üç fəsildən ibarət olan II hissə elektrovakuum cihazlarında (fəsil 2.1), ion cihazlarında (fəsil 2.2) baş verən elektron proseslərinə və bu cihazların iş prinsipinə, eləcə də elektron optikasının əsas element və prinsiplərinin izahına (fəsil 2.3) həsr olunmuşdur.

Kitabın III hissəsində yarımkeçirici cihazların böyük əksəriyyətinin əsas işçi elementi olan müxtəlif elektrik keçidlərinin-homo p-n keçidlərin (fəsil 3.1), heterokeçidlərin, metal-yarımkeçirici keçidlərinin və omik kontaktların (fəsil 3.2) yaranması prosesinə, həmin keçidlərin təsnifatına və əsas parametrlərinə, onlarda baş verən elektron proseslərinin xüsusiyyətlərinə baxılır.

Kitabın 4 fəsildən ibarət sonuncu IV hissəsində opto-elektron cihazları (fotoqəbuledicilər, optik modulyatorlar və filtrlər, işıq mənbələri və s.) istisna olmaqla, bütövlükdə başlıca yarımkeçirici elektron cihazları: yarımkeçirici diod-

lar (fəsil 4.1), yarımkəçirici tranzistorlar (fəsil 4.2), yarımkəçirici qeydedici və çeviricilər (fəsil 4.3), həm də əlavə olaraq, yarımkəçirici istilik və termoelektrik cihazları (fəsil 4.4) haqqında məlumatlar verilir.

Kitabın sonunda onun tərtib olunmasında istifadə və istinad edilən ədəbiyyatın siyahısı verilmişdir. Bu siyahı həm də oxucuya əlavə, daha geniş məlumatlar toplamaq üçün hansı elmi, tədris və metodiki ədəbiyyatdan istifadə edilməsində kömək göstərə bilər.

Kitabın əvvəlindən (girişindən) sonunadək hər termin ilk dəfə işlədildikdə seçilmək üçün qara rəngli şriftlə çap edilmişdir. Bəzi terminlərin azərbaycanca ifadəsi müəlliflərin baxışına uyğun verilmişdir.

Dərslik onun müəlliflərinin uzun illər Bakı Dövlət Universitetinin müxtəlif istiqamət və ixtisaslar üzrə təhsil alan tələbə (bakalavriyyat və magistrant) və aspirantlarına oxuduqları mühazirələr əsasında tərtib edilmişdir. Sözsüz ki, Azərbaycan dilində ilk addım olan belə əhatəli bir kitabda qüsurların ola bilməsi də istisna edilmir. Müəlliflər hər bir xoşməramlı irad və təklifə görə əvvəlcədən minnətdarlıq edir və onların mümkün qədər nəzərə alınacağına zəmanət verir. Dərsliyin əlyazması 1–2 il tələbə auditoriyalarında sınaqdan keçirilmiş, rəyçilər, elmi redaktor tərəfindən oxunmuşdur. Bundan əlavə, kitabın I hissəsi prof. f.r.e.d. Ş.Q.Əsgərov, dos., f.r.e.n. Q.İ.Qəribov, II hissəsi dos., f.r.e.n. N.Ə.Məmmədov, III və IV hissələri dos., f.r.e.n. R.F.Babayeva və dos., f.r.e.n. H.M.Məmmədov tərəfindən oxunmuş, uyğun düzəlişlər və təkliflər edilmişdir.

Müəlliflər bu insanların hər birinə təmənnəsiz sərf etdikləri vaxt üçün təşəkkür edirlər.

I HİSSƏ

EMİSSİYA ELEKTRONİKASININ ƏSASLARI

Bərk cisimdən elektronların vakuuma və ya qaz mühitinə çıxması prosesi **elektron emissiyası** adlanır. Elektron emissiyasının öyrənilməsinin müxtəlif cihaz və qurğuların hazırlanması, eləcə də fundamental nəzəri biliklərin əldə edilməsi və onların tətbiq sahələrinin genişləndirilməsi üçün böyük əhəmiyyəti vardır. Elektron emissiyası proseslərinin gedişini təyin edən amillərin müxtəlifliyi, onların xüsusiyyətlərinin, xarakteristikalarının və başvermə şəraitinin hərtərəfli təhlil olunmasını tələb edir.

Maddədən elektronların emissiyasını yaratmaq üçün, həmin elektronlara **çıxış işindən** (elektronun maddədən kənara çıxma bilməsi üçün lazım olan enerjiddən) kiçik olmayan qədər əlavə enerji vermək lazımdır. Müxtəlif maddələr üçün çıxış işinin qiyməti fərqlənir və metallarda o, bir neçə elektron-volt tərtibindədir. Emissiyanın yaradılması (elektronlara emissiya üçün lazım olan enerjinin verilməsi) üsullarından asılı olaraq, elektron emissiyasının müxtəlif növləri mövcuddur.

FƏSİL 1.1

EMİSSİYA HADİSƏLƏRİNİN TƏSNİFATI

§1.1.1. Elektronların bərk cisimdən emissiyası

Həyəcanlaşdırılmamış halda $T = 0$ olduqda metal və yarımkəçiricilərdə elektronlar, ən aşağı enerji səviyyəsində məskunlaşır və kənar təsirlər olmadıqda onu tərk edə bilmir. Elektronun emissiyası üçün maddənin temperaturu $T > 0$ olmalı və ya maddə daxilindəki elektrona hər hansı yolla əlavə (ΔE) enerji verilməlidir. Bu əlavə enerjinin verilmə formalarından asılı olaraq, elektron emissiyasının müxtəlif növləri vardır. Ən geniş tətbiq tapmış və tədqiq olunan emissiya hadisələri termoelektron emissiyası, fotoelektron emissiyası, ikinci elektron emissiyası, ağır zərrəciklərin zərbələri ilə emissiya, qızmar elektronların emissiyası, ekzoelektron emissiyası və kombinasiyalı elektron emissiyası hadisələridir.

Termoelektron emissiyası hadisəsində cismin qızdırılması zamanı elektronlar emissiya olunur. Bu halda cismin kristal qəfəsini təşkil edən atomların (ionların) istilik rəqslərinin enerjisi ondakı sərbəst elektronların həyəcanlaşdırılmasının enerji mənbəyinə çevrilir. Temperatur yüksəldikcə metalda və ya yarımkəçiricidə keçirici elektronların enerjisi artır və nəhayət, onların emissiyası baş verir. Əgər emissiyaedici səthdən xaric olan elektronlar sürətləndirici sahə vasitəsi ilə uzaqlaşdırılmırsa, onda həmin elektronlar cismin səthinin yaxınlığında toplanaraq, **elektron buludu** əmələ gətirir. Elektron buludundakı elektronların enerjisi müxtəlif olduğundan, bir qayda olaraq, onları xarakterizə etmək üçün enerjinin orta qiyməti anlayışından istifadə edilir. Adətən müxtəlif hallarda enerjinin bu qiyməti onda bir elektron-volt ətrafında dəyişir.

Emissiya olunmuş elektron buludu cisimlə dinamik tarazlıq halında olduğu üçün qızdırılmış cisimdən çıxan yeni elektronlar buluda daxil olur, buluddakı elektronların bir qismi isə onu tərk edərək yenidən cismə qaydır. Bu hadisə qapalı sistemdə mayenin buxarlanmasına oxşayır. Belə bir mayədə doymuş buxar dinamik tarazlıq halında olduğu üçün bir qrup molekullar mayeyə qaydır, həmin qədər digər qrup molekullar isə mayedən enerji alaraq onu tərk edir.

Aktivləşdirilmiş közərmə katodlu (məsələn, oksid katodlu) cihazlarda xarici sürətləndirici elektrik sahəsinin təsiri ilə termoelektron emissiyası hadisəsini kifayət qədər gücləndirmək mümkündür. Katod közərdildikdə ondan termoelektron emissiyası baş verir və sürətləndirici xarici sahənin təsiri ilə səthi tərk edən elektronların sayı çoxalır. Sürətləndirici sahə olmadıqda isə həmin elektronların heç də hamısı səthi tərk edə bilmir.

Qısamüddətli güclü sahənin təsiri ilə oksidli közərmə və aktivləşdirilmiş digər katodlardan elektronların çıxması intensivləşir. Bu emissiya növü bir sıra elektron və ion cihazlarında qısamüddətli cərəyan impulslarının alınmasında tətbiq edilir. Xarici elektrik sahəsinin, işıq kvantlarının və müsbət ionların təsiri altında soyuq və azacıq isti cisimlərdən də elektronların emissiyası prosesini yaratmaq mümkündür.

Fotoelektron emissiyası hadisəsi və ya **xarici fotoeffekt** elektromaqnit şüalarının təsiri ilə baş verir. Bu halda, bərk cismin daxilindəki sərbəst elektronlarının həyəcanlaşdırılması üçün lazım olan enerjinin mənbəyi rolunu elektromaqnit dalğalarının (fotonun) enerjisi oynayır. Fotoelektron emissiyası zamanı emissiyaedici elektrod **fotokatod**, çıxan elektronlar isə – **fotoelektronlar** adlanır.

İkinci elektron emissiyası hadisəsi kənar sürətli elektronların cismin səthinə zərbə vurması nəticəsində yaranır. Bu prosesdə cismin elektronlarının həyəcanlaşdırılması üçün lazım olan enerjinin mənbəyi cismin daxilinə nüfuz edən

birinci elektronların kinetik enerjisidir. Həmin elektronlar maddənin üst (səthə bitişik) təbəqəsinə daxil olaraq öz enerjilərini həmin hissədəki sərbəst elektronlara verir. Bu halda zərbə vuran elektronlar **birinci**, çıxan elektronlar isə **ikinci elektronlar** adlanır. Birinci elektronlardan kifayət qədər əlavə enerji alan sərbəst elektronlar maddəni tərk edir – ikinci elektron emissiyası baş verir. Adətən, ikinci elektron emissiyası prosesi birinci elektronların enerjisi 10–15 eV və daha çox olduqda baş verir. Birinci elektronların enerjisi çox yüksək olduqda, onların hər biri maddədən bir neçə ikinci elektron çıxara bilər. İkinci elektron emissiyası hadisəsi ikinci elektron emissiyası əmsalı (σ) ilə xarakterizə olunur. Bu əmsal, ikinci elektronların sayının (n_2) birinci elektronların sayına (n_1) olan nisbətində bərabərdir:

$$\sigma = n_2/n_1 \quad (1.1.1)$$

σ - əmsalı başlıca olaraq maddənin kimyəvi təbiətindən, tərkibindən, katodun səthinin quruluşundan, birinci elektronların enerjisindən və katodun səthinə düşmə bucağından asılıdır. Təmiz metallar üçün σ -nın qiyməti 0,5–1,8 intervalında dəyişir. Aktivləşdirici səthdən istifadə edildikdə isə ikinci elektron emissiyası əmsalı 10 və daha böyük qiymətlər alır. İkinci elektron emissiyasını şiddətləndirmək məqsədi ilə maqnezium-gümüş, alüminium-mis, berillium-mis və başqa maddələrin xəlitələrindən istifadə edilir. Belə xəlitələrdə σ - əmsalı 2÷12 intervalında, bəzən isə daha da böyük qiymətlər ala bilər və bu materiallarda (digərləri ilə müqayisədə) emissiya prosesi daha dayanıqlı olur. İkinci elektron emissiyası hadisəsi yarımkeçiricilərdə və dielektriklərdə də müşahidə olunur.

İkinci elektron emissiyası dayanıqsız proses olduğundan uzun müddət tətbiq tapmamışdır. Yalnız sonralar metal xəlitələrindən ibarət olan və stabil işləyən ikinci elektron katodları yaradılmışdır və bununla da, ikinci elektron emissiyası əsasında işləyən mükəmməl elektrovakuum cihazları düzəltmək mümkün olmuşdur.

Ağır zərrəciklərin təsiri ilə elektronların emissiyası ikinci elektron emissiyası hadisəsinə oxşayır. Bu halda elektron emissiyası cismin səthini ionlarla bombaladıqda yaranır. Bu emissiya prosesi ion-elektron əmsalı (δ) ilə xarakterizə olunur. Həmin əmsal katoddan çıxan elektronların sayının (n_e), zərbə vuran ionların sayına (n_i) olan nisbətində bərabərdir:

$$\delta = n_e/n_i \quad (1.1.2)$$

və bir ionun zərbəsi nəticəsində katoddan çıxan elektronların sayını göstərir.

δ -nın qiyməti hədəfin (katodun) material və xüsusiyyətlərindən, zərbə vuran ionların kütləsindən və enerjisindən, hədəfin səthində aktivləşdirici örtüyün olub-olmamasından, ionların səthə düşmə bucağından və digər amillərdən asılıdır. Adətən δ -nın qiyməti vahiddən kiçik olur. Yalnız yarımkeçiricilərdə və nazik dielektrik təbəqələrdə bəzən $\delta > 1$ qiyməti müşahidə edilir. Elektronu maddədən çıxarmaq üçün ionun ən kiçik enerjisi on elektron-volt tərtibində olmalıdır. Səthdə aktivləşdirici təbəqə olduqda δ -nın qiyməti artır, çıxan elektronların enerjisi isə 1-3 eV-a çatır.

Qızmar elektronların emissiyası yarımkeçiricini güclü elektrik sahəsinə daxil etdikdə baş verir. Yüksəkintensivlikli belə elektrik sahəsinin təsiri ilə elektronlar valent zonadan və ya donor aşqar səviyyəsindən həyəcanlaşdırılaraq keçirici zonaya keçir. Keçirici zonada həmin elektronların kinetik enerjisi sahənin təsiri altında artır və onlar sürətlənir. Böyük enerji toplamış elektronlar kristal qəfəsin fononları ilə qarşılıqlı təsirdə olduqda enerjisi cüzi dəyişir və elektron qazının temperaturu kristal qəfəsin temperaturundan yüksək olur – elektronlar güclü elektrik sahəsində qızır. Böyük kinetik enerjiyə malik, belə qızmar elektronlar maddədən (katoddan) emissiya olunur.

Ekzoelektron emissiyası cismin səthində mexaniki yolla, eləcə də qaz boşalması, ultrabənövşəyi və ya rentgen şüaları

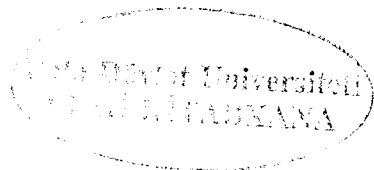
245733

ilə təsir göstərdikdə də baş verir. İndiyədək ultrabənövşəyi və ya rentgen şüalarının təsiri ilə yaranan ekzoelektron emissiyası prosesi ancaq dielektriklərdə müşahidə edilmişdir. Ekzoelektron emissiyası cərəyanının qiyməti zaman keçdikcə azaldığından və çox kiçik olduğundan, bu proses zamanı yaranmış elektronları ancaq xüsusi sayğacların köməyi ilə aşkar etmək mümkün olur. Buna səbəb, xarici təsirlərdən cismin strukturundakı tarazlıq halının əvvəlcə pozulması, sonra isə bərpa olunmasıdır. Bu iki bir-birinə əks olan proses nəticəsində elektronların enerjisi dəyişir və sürətlənən elektronlar səthə doğru hərəkət edir. Səthə yaxın hissədə enerji artır. Toplanan enerji hesabına əlavə sürət qazanan elektronlar katodun səthini tərk edir.

Beləliklə, ekzoelektronların yaranmasına səbəb xarici təsirlər nəticəsində cismin səthində əlavə enerjinin toplanmasıdır.

Elektrostatik (və ya avtoelektron) emissiyası güclü elektrik sahəsinin təsiri ilə metal və ya yarımkəçiricinin səthindən elektronların qopmasıdır. Bu halda tətbiq edilən sahənin qiyməti $E = 10^6 - 10^7 V \cdot sm^{-1}$ intervalında dəyişir. Belə bir sahənin təsiri altında elektronların astana potensialı çəpər potensialına çevirilir. Təsir edən elektrik sahəsi güclü olduqca çəpərin eni kiçilir və həyəcanlaşdırılmayan elektronlar tunel effekti nəticəsində cismi tərk edir. Bəzən bu emissiya növünü **soyuq emissiya** da adlandırırlar.

Səth geniş olduqca səthin mikroskopik çıxıntılarının sahəsi hesabına elektrostatik emissiyanın şiddəti artır. **Aktivləşdirici örtük**, xüsusilə də səthdə oksid təbəqə olduqda da elektrostatik emissiya güclənir. Xarici elektrik sahəsi həm yarımkəçirici oksid təbəqəni, həm də əsas maddənin səthini keçərək onun həcminə daxil olur və bunun nəticəsində də elektronların maddədən çıxış işi azalır.



§ 1.1.2. Kombinasiyalı emissiya

Termoavtoelektron emissiyası hadisəsi qızdırılmış yarımkeçirici və ya dielektrikdə elektrik sahəsinin təsiri ilə elektronların maddədən xaricə çıxmasıdır. Elektronların tunel effekti hesabına emissiyası $T = 0$ qiymətində də mümkündür. $T > 0$ olduqda, cisimdəki sərbəst elektronların bir hissəsi qəfəsin istilik hərəkətinin enerjisi hesabına yuxarı enerji səviyyələrində məskunlaşır. Həmin yuxarı enerji səviyyələrinə keçmiş elektronlar üçün potensial çəpər dar və alçaq olduğundan elektronların çəpəri deşib keçmə ehtimalı da böyük olur. Xüsusilə də yarımkeçirici halında istilik hərəkəti nəticəsində emissiya cərəyanı bir qədər də artır. Çünki valent zonadakı elektronlara nisbətən, keçirici zonada olan elektronlar üçün qadağan olunmuş zonanın eni böyükcə potensial çəpərin nüfuzluluğu böyüyür.

Fotoavtoemissiya hadisəsində yarımkeçirici materialları uyğun enerjiyə malik işıq kvantları ilə şüalandırıldıqda elektronlar valent zonadan keçirici zonaya keçərək maddəni tərk edir. Bu cür şüalandırma üsulu ilə yaranan emissiya kombinasiyalı fotoemissiya adlanır.

İon-elektronların potensial emissiyası, yaxud da bəzən ion-elektronların potensial qopması adlanan bu hadisə müsbət ionların köməyi ilə cismin səthində mənfi potensiallı sahə yaradılarkən baş verir. Bu zaman baş verən emissiya aktında cismin iki elektronu iştirak edir. Həmin elektronlardan biri enerjisini iona ötürərək onu neytrallaşdırır, digəri isə cisimdən əlavə enerji alaraq həyəcanlaşır və tunel effekti hesabına onu tərk edir.

FƏSİL 1.2

TERMOELEKTRON EMİSSİYASI

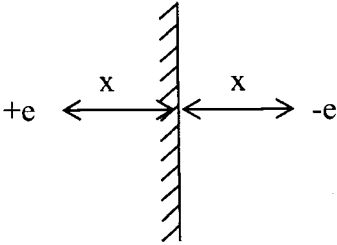
§1.2.1. Tam çıxış işi

Metallarda termoelektron emissiyası hadisəsi hələ təqribən 200 il əvvəl məlum olsa da, bu hadisənin mahiyyəti yalnız 1873-cü ildə amerika alimi Edisonun təcrübələri ilə öz izahını tapmışdır. Elektronların termoelektron emissiyası hadisəsi qısa müddət ərzində elektron texnikasında geniş tətbiq olunmağa başlamışdır. Əvvəllər termoelektron katodların hazırlanmasında təmiz metallardan, xüsusilə də volframdan istifadə edilsə də, sonralar volfram katodlar öz yerini oksid katodlara verdi.

Termoelektron emissiyası hadisəsinin fizikası sahəsində aparılan araşdırmalarda qəbul olunur ki, 1m^3 həcmdə 10^{29} sayda elektron mövcuddur. Bu elektronlar, hətta çox aşağı temperaturda da metalın daxilində daima sərbəst hərəkət edir, metalın səthinə çatdıqda isə onların metaldan kənara çıxmasına əngəllər yaranır. Metallardan elektronların xaricə çıxmasına əks təsir göstərən müəyyən səbəblər mövcud olduğundan, cismi qızdırdıqda ondan elektronların hamısı deyil, yalnız müəyyən bir qismi kənara çıxır. Həmin səbəblərin nədən ibarət olduğunu araşdıraraq. Bunun üçün fərz edək ki, metal öz qarşısında yerləşmiş elektrik yükü ilə güzgü əksi qüvvəsi ilə təyin olunan qarşılıqlı təsirdədir (şəkil 1.2.1). Əgər hər hansı xarici təsir nəticəsində metaldan bir elektronu müəyyən x məsafəyə qədər uzaqlaşdırıb bilsək, onda həmin elektronun metalla qarşılıqlı təsirini metalın daxilində onun səthindən x məsafədə yerləşən $+e$ yükü ilə qarşılıqlı təsiri kimi qəbul edə bilərik. Bu qarşılıqlı təsir qüvvəsi **güzgü əksi qüvvəsi** (F_{gz}) adlanır və vakuumda

$$F_{gz} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{4x^2} \quad (1.2.1)$$

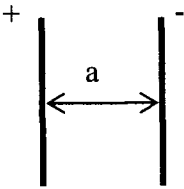
ifadəsi ilə təyin olunur. Burada e – elektronun yükü, ϵ_0 – isə elektrik sabitidir. Bu qüvvə elektrona qarşı ləngidici qüvvədir və metalın səthindən kristal qəfəs sabiti (a) tərtibindəki məsafəyə qədər təsir göstərir. Metalın səthindən a –



Şəkil 1.2.1. Əks yüklərin qarşılıqlı təsiri

qalınlıqlı layda isə ikiqat elektrik sahəsi təsir edir. Bu layın yaranmasına səbəb metalın daxilində xaosik hərəkət edən sərbəst elektronların metalın vakuuma həmsərhəd olan üzündən (səthindən) a qədər məsafəyə uzaqlaşmasıdır. Həmin elektronların müəyyən hissəsi qəfəsin vakuuma həmsərhəd üzündə yerləşmiş müsbət

yüklü ionlar tərəfindən metalın daxilinə qaytarılır, qalan hissəsi isə sərbəst hərəkət edərək metaldan uzaqlaşır və s. Buna görə də metalın səthindən a məsafədə həmişə elektron buludu mövcud olur və mənfi yüklü bu bulud onun səthindəki müsbət yüklərlə ikiqat elektrik layı yaradır. Bu laya müstəvi kondensator kimi baxa bilərik (şəkil 1.2.2). Güzgü əksi qüvvəsi həmin kondensatorun köynəyinə qədər olan məsafədə təsir edir. Şottki nəzəriyyəsinə görə kondensatorun köynəkləri arasında elektrona təsir edən qüvvənin qiyməti:



Şəkil 1.2.2. Müstəvi kondensator

$$F_{il} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{4a^2} \quad (1.2.2)$$

Bu qüvvələrin metalın səthindən olan məsafədən (x) asılılığı şəkil 1.2.3-də verilmişdir. Şəkildən görünür ki, metalın səthində elektrona təsir edən qüvvə Şottki nəzəriyyəsinə görə 1, Lənqmür nəzəriyyəsinə görə isə 2 əyrisinə uyğun dəyişir. Müstəvi kondensatorun daxilində yükə təsir edən qüvvə sabit olduğundan, ikiqat lay daxilində elektrona təsir edən ləngidici qüvvə də sabitdir.

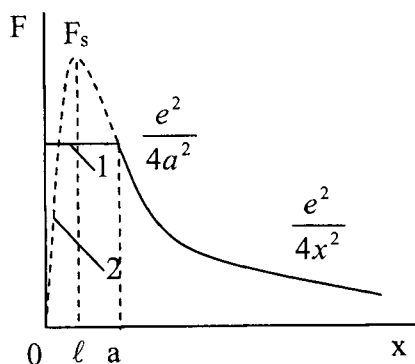
Beləliklə, elektronun metaldan çıxmasına F_{gz} güzgü əksi və F_{il} ikiqat layın daxilindəki qüvvəsi kimi iki qüvvə mane olur. Bu iki ləngidici qüvvə birlikdə metalın səthində potensial çəpər yaradır. Elektronu metaldan çıxarmaq üçün həmin qüvvələrə qarşı müəyyən iş görmək lazımdır. Bu iş **çıxış işi** (W_0) deyilir və:

$$W_0 = W_{il} + W_{gz} = \int_0^a F_{il} dx + \int_a^\infty F_{gz} dx = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{4a^2} \int_0^a dx + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{4} \int_a^\infty \frac{dx}{x^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{4a} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{4a} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{2a}$$

Deməli, sərbəst elektronlar üçün metalın səthindəki potensial çəpərin hündürlüyü:

$$W_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{2a} \quad (1.2.3)$$

Burada a – kristalın qəfəs sabiti tərtibli kəmiyyətdir. Görülən işin metalın səthindən olan məsafədən asılılığının qrafiki şəkil 1.2.4-də təsvir edilmiş-



Şəkil 1.2.3. Metalın səthində elektrona təsir edən qüvvənin məsafədən asılılığı

dir. W_0 — metalın kənar mühtlə sərhədindəki potensial çəpərin tam hündürlüyünü xarakterizə edir və elektronun **tam çıxış işi** adlanır.

Şottki nəzəriyyəsində ikiqat lay ilə müstəvi kondensator oxşar sistemlər kimi qəbul edilir. **Klassik nəzəriyyəyə** görə isə metalın daxilində F qüvvəsi sıfıra bərabərdir. Başqa sözlə, elektron metaldan çıxarkən səthdən ℓ – məsafəsində bu qüvvə sıfırdan maksimal F_s qiymətinə qədər artmalı, sonra isə güzgü əksi qüvvəsinə çevrilərək azalmalıdır (şəkil 1.2.3-də 2-ci əyri).

Lənqmür ikiqat lay daxilində F – qüvvəsinin

$$F_{il} = F_s - k(x-s)^2 \quad (1.2.4)$$

qanunu ilə dəyişdiyini fərz etmiş və bu halda aşağıdakı şərtlərin ödənildiyini göstərmişdir:

$$x = 0 \text{ olduqda, } F_{il} = 0;$$

$$x = a \text{ olduqda isə,}$$

$$F_{il} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{4a^2}. \text{ Sonra isə}$$

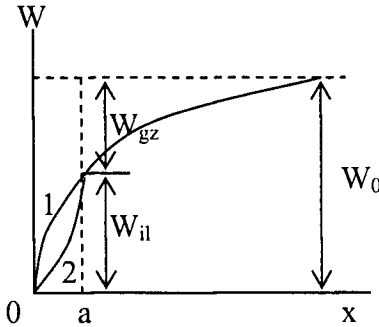
bu şərtlərdən F_s , k və s – kəmiyyətlərini təyin edərək belə bir nəticəyə gəlmişdir ki, Şottki nəzəriyyəsində göstərildiyi kimi, elektron metalın səthindəki ikiqat layı keçərkən gördüyü iş:

$$F_{il} \cdot a = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{4a^2} \cdot a.$$

Beləliklə, **Lənqmür nə-**

zəriyyəsinə görə də tam çıxış işi:

$$W_0 = \int_0^a [F_s - k(x-s)^2] dx + \int_a^\infty \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{4x^2} dx = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{2a} \quad (1.2.5)$$



Şəkil 1.2.4. Metalın səthində potensial çəpərin hündürlüyünün məsafədən asılılığı