

# EMISIJE ELEKTRONA

---

Ivković, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:632565>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-27**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**



**ANA IVKOVIĆ**

**EMISIJE ELEKTRONA**

**Završni rad**

**Osijek, 2020.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**



**ANA IVKOVIĆ**

**EMISIJE ELEKTRONA**

**Završni rad**

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku radi stjecanja zvanja prvostupnika/ce fizike.

**Osijek, 2020.**

**„Ovaj završni rad izrađen je u Osijeku pod vodstvom mentora doc.dr.sc. Denisa Stanića u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija Fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.“**

## SADRŽAJ

1.UVOD .....	1
2.FOTOEMISIJA .....	2
3.TERMOELEKTRONSKA EMISIJA.....	5
3.1. Izvod Dushman-Richardsonove formule.....	8
4.SEKUNDARNA EMISIJA .....	12
5.EMISIJA ELEKTRIČNIM POLJEM .....	16
5.1. Schottkyjev efekt.....	16
6.ZAKLJUČAK .....	19
7.LITERATURA.....	20

Odjel za fiziku

## **EMISIJE ELEKTRONA**

**ANA IVKOVIĆ**

### **Sažetak**

U ovom završnom radu opisana su četiri procesa kojima se emitiraju elektroni iz metalnih površina: fotoemisija, termoelektronska emisija, sekundarna emisija i emisija električnim poljem. Emisija elektrona je pojava kojom se oslobađaju elektroni iz metala. Ako emisija elektrona nastaje zbog svjetlosnog udara na površinu metala tada govorimo o fotoemisiji. Termoelektronska emisija označava pojavu emitiranja elektrona iz metala uslijed zagrijavanja uzorka. Do sekundarne emisije elektrona dolazi kada se neki čvrsti materijal izloži bombardiranju čestica kao što su elektroni ili ioni. Još jedan način na koji možemo dobiti elektrone je emisija električnim poljem.

**Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku**

**Ključne riječi :** elektron/ fotoemisija/ termoelektronska emisija/ sekundarna emisija/ emisija električnim poljem

**Mentor :** doc.dr.sc. Denis Stanić

**Ocjenjivači :**

**Rad prihvaćen :**

## **ELECTRONS EMISSION**

**ANA IVKOVIĆ**

### **Abstract**

This thesis describes four processes by which electrons are emitted from metal surfaces: photoemission, thermionic emission, secondary emission and electric field emission. Electron emission is a phenomenon in which electrons are released from metals. If the emission of an electron occurs due to a light impact on the surface of a metal, then we are talking about photoemission. Thermionic emission denotes the occurrence of electron emission from a metal due to heating of a sample. Secondary emission occurs when a solid material is exposed to a bombardment of particles such as electrons or ions. Another way we can get emit electrons is with electric field emission.

**Thesis deposited in Department of Physics library**

**Keywords** : electron/ photoemission/ thermionic emission/ secondary emission/ electric field emission

**Supervisor** : Denis Stanić, Ph.D

**Reviewers** :

**Thesis accepted:**

## 1.UVOD

Elektron je negativno nabijena čestica koja je uz proton i neutron jedna od sastavnih čestica atoma. Emisija elektrona je pojava kojom elektron napušta metal. Elektron napušta metal tek kada je njegova energija veća od izlaznog rada, a povećanje energije dolazi uslijed zagrijavanja metala, apsorpcije fotona itd. U nastavku se promatraju četiri načina emisije elektrona s obzirom na predaju energije elektronu: fotoemisija, termoelektronska emisija, sekundarna emisija i emisija električnim poljem.



## 2.FOTOEMISIJA

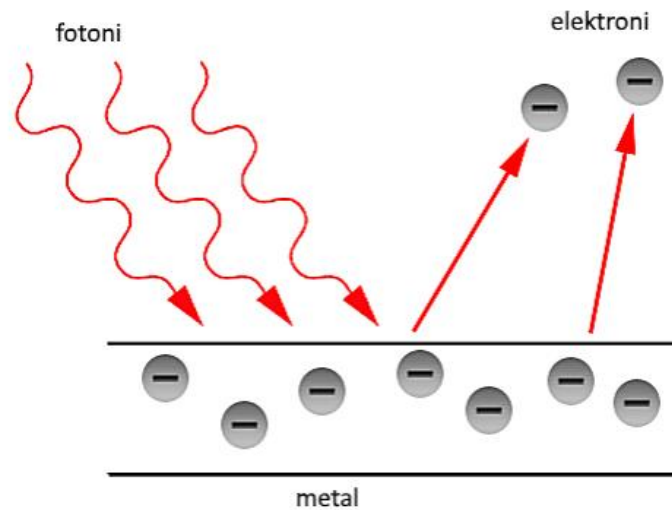
Najviša energija koju imaju elektroni u kristalu metala na temperaturi apsolutne nule naziva se Fermijeva energija  $E_F$ . Relativno mali broj elektrona ima energiju veću od Fermijeve energije da bi se oslobodili iz metala, a ostalim elektronima potrebna je dodatna količina energije. Dodatna energija koju elektron treba dobiti da bi mogao napustiti kristal naziva se izlazni rad  $W$  (ili  $\phi$ ), a ovisi o vrsti metala i uvjetima na njegovoj površini. Uvjet za energiju elektrona  $E$ , da bi on mogao napustiti površinu metala, dan je izrazom

$$E > E_F + W. \quad (2.1)$$



Slika 1. Shematski prikaz izlaznog rada, Fermijeva nivoa i slobodnih elektrona

Jedan od načina na koji elektron može dobiti dodatnu energiju za napuštanje metala je apsorpcija fotona. Udarom svjetlosti na površinu metala elektron apsorbira jedan kvant svjetlosti, pri čemu foton elektronu predaje svu svoju energiju.

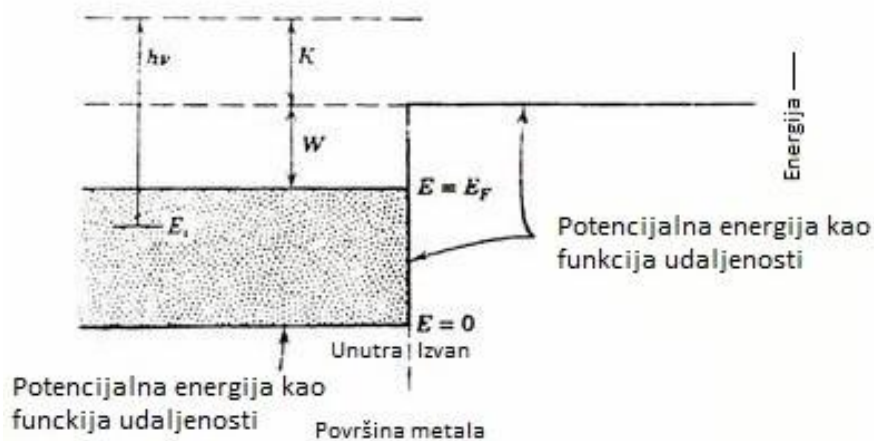


Slika 2. Shematski prikaz fotoelektričnog efekta [4]

Energija fotona  $h\nu$  mora biti veća od izlaznog rada  $W$  kako bi elektron bio u stanju napustiti površinu metala, a svaki elektron može primiti energiju samo jednog fotona. Kada jedan elektron kojemu je početna energija u kristalu  $E_i$ , apsorbira foton i napusti metal, tada je njegova kinetička energija  $K$  dana izrazom

$$K = (E_i + h\nu) - (E_F + W) \quad (2.2)$$

gdje je  $h$  Planckova konstanta ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34} Js$ ),  $\nu$  frekvencija.



Slika 3. Model kutije za kristal metala kako bi se ilustrirao odnos među veličinama koje se pojavljuju u jednadžbi (2.2) [2]

Najveća vrijednost energije za većinu elektrona jednaka je  $E_F$ , a maksimalna kinetička energija  $K_m$  jednog emitiranog elektrona dana je jednadžbom:

$$K_m = h\nu - W \quad (2.3)$$

koju prepoznajemo kao poznatu Einsteinovu fotoelektričnu jednadžbu i ona je jedan od razloga zbog kojih je 1921. godine Albert Einstein dobio Nobelovu nagradu za fiziku.

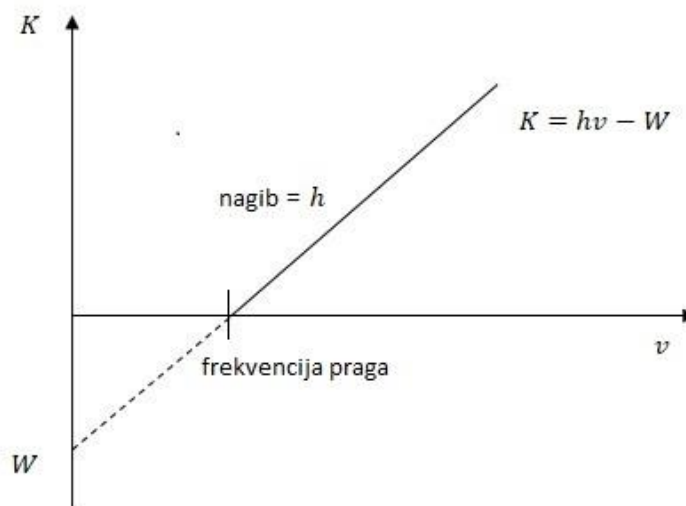
Svjetlost je elektromagnetsko zračenje u rasponu valnih duljina od 380nm do 780nm koje pripadaju vidljivoj svjetlosti te ih ljudsko oko razlikuje kao boje. Elektromagnetsko zračenje opisujemo kao prijenos energije mnoštvom fotona kroz prostor i time elektromagnetskom valu dajemo obilježje čestica koje se gibaju velikom brzinom.[5] Svaka boja ima svoju valnu duljinu, odnosno frekvenciju. Ako je frekvencija svjetlosti ispod neke granične vrijednosti, onda svjetlosni val kao takav ne može izazvati fotoemisiju. Einstein je dokazao da mora vrijediti

$$h\nu \geq W \quad (2.4)$$

gdje je  $h$  Planckova konstanta ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34} Js$ ),  $\nu$  frekvencija, a  $W$  izlazni rad. Zaključuje se da za sve frekvencije ispod

$$\nu = \frac{W}{h}$$

nema emisije. [3]



Slika 4. Graf fotoelektričnog efekta iz kojeg se može izračunati frekvencija praga, izlazni rad i iz nagiba Planckova konstanta  $h$

### 3. TERMOELEKTRONSKA EMISIJA

Zagrijavanjem metala polagano se mijenja unutrašnja energija elektronskog plina i pri tome pojedini metali bitno povećavaju svoju energiju. Pri visokim temperaturama pojedini elektroni dobivaju dovoljnu količinu energije pomoću koje mogu napustiti metal, a to je upravo pojava termoelektronske emisije. Ukoliko na emitirane elektrone djeluje električno polje, nastaje električna struja koja raste povećanjem polja sve dok ne dosegne vrijednost zasićenja. Struja zasićenja ovisi o broju emitiranih elektrona sa površine metala. Broj elektrona koji će biti emitirani zavisi o temperaturi na koju se metal zagrije, pa će prema tome gustoća struje zasićenja biti funkcija temperature.[1] Owen Richardson je prvi koji je proučavao temperaturnu ovisnost gustoće struje te je i opisao. Prvi puta je svoja otkrića objavio 1901. godine u znanstvenom radu, a 1908. godine dodijeljena mu je Nobelova nagrada. Nekoliko znanstvenika doprinijelo je razumijevanju i tumačenju jednadžbe koja pokazuje temperaturnu ovisnost gustoće struje zasićenja i naziva se Dushman-Richardsonova formula [4]

$$j = AT^2 e^{-\frac{\Phi}{k_B T}} \quad (3.1)$$

čija je točnost eksperimentalno je dokazana. [4] Eksperimentalno određene vrijednosti parametara  $A$  i  $\Phi$  različitih metala navedene su u tablici 1.

Tablica 1. Parametri  $A$  i  $\Phi$  za različite metale [1]

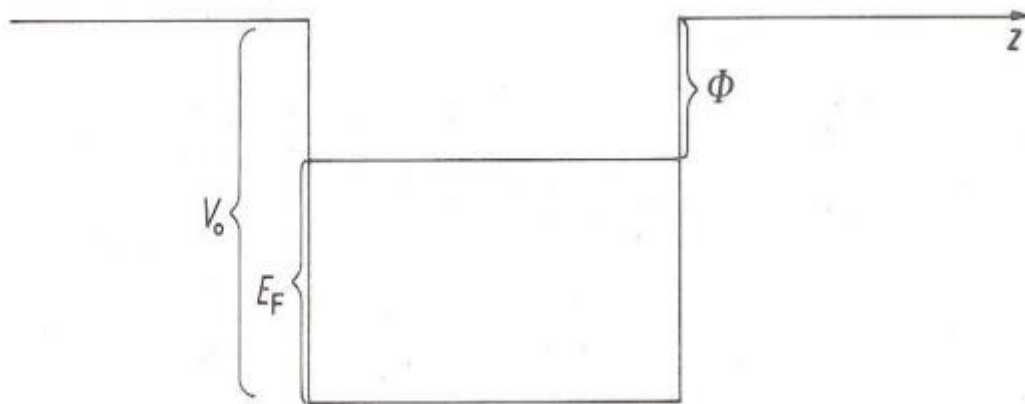
Metal	Ba	Ca	Cr	Cs	Mo	Ni	Pt	Ta	W
$A / \frac{A}{cm^2 K^2}$	60	60	48	160	55	27	32	55	75
$\Phi / eV$	2,5	3,2	4,6	1,8	4,3	5,0	5,3	4,2	4,5

Promatramo što se događa s funkcijom raspodjele elektrona i kako se ona mijenja kada elektron napusti metal. Pretpostavljamo da se elektroni gibaju u pravokutnoj potencijalnoj jami dubine  $V_0$ , prikazane na slici 5. Pri temperaturi apsolutne nule elektroni zauzimaju energijske nivoe od nule do Fermijeve energije  $E_F$ . Energija elektrona mjeri se od dna potencijalne jame. [1]

Kako bi elektron s vrha Fermijeve raspodjele napustio metal, energija mu se mora povećati za razliku

$$\Phi = V_0 - E_F \quad (3.2)$$

gdje energiju  $\Phi$  definiramo kao izlazni rad elektrona. Istu funkciju materijala otkrio je Einstein kada je proučavao fotoelektrični efekt i kao takva zavisi s kojim metalom se radi.



Slika 5. Pravokutna potencijalna jama dubine  $V_0$  [1]

Zagrijavanjem metala unutrašnja energija elektronskog plina se povećava. Elektroni prelaze na viša energijska stanja jer se povećava njihova ukupna, odnosno kinetička energija. Kako bi elektron mogao napustiti metal, njegova kinetička energija mora biti barem jednaka dubini potencijalne jame [1]

$$E \geq V_0. \quad (3.3)$$

Pomoću ovog uvjeta može se vidjeti što se događa s raspodjelom elektrona koji napuštaju metal. Elektronski plin u metalu opisan je Fermi-Diracovom funkcijom raspodjele

$$q(v) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{k_B T}} + 1}. \quad (3.4)$$

Ako energije u eksponentu prvog člana nazivnika izrazimo preko jednadžbe za izlazni rad (3.2) te uvrstimo uvjet na dubinu jame (3.3), dobiva se kako razlika energije elektrona  $E$  i Fermijeve energije  $E_F$  mora biti barem jednaka izlaznome radu  $\Phi$  da bi elektron napustio metal:

$$E - E_F = V_0. \quad (3.5)$$

Prema tablici 1. vrijednosti izlaznog rada elektrona u metalima nekoliko su elektronvolta.

Dobiva se uvjet da je izlazni rad puno veći od termičke energije

$$\Phi \gg k_B T \quad (3.6)$$

pri svim temperaturama nižim od tališta metala. Iz toga slijedi da prvi član nazivnika iz Fermi-Diracove funkcije raspodjele prevladava i stoga će biti:

$$e^{\frac{E-E_F}{k_B T}} \gg 1. \quad (3.7)$$

Iz toga slijedi da Fermi-Diracova funkcija približno postaje:

$$q(v) = e^{\frac{E_F-E}{k_B T}}. \quad (3.8)$$

Nakon što su elektroni emitirani iz metala, za njih vrijedi Maxwell-Boltzmannova raspodjela. Iz izraza (3.7) i (3.8) slijedi da je funkcija raspodjele veoma mala:

$$q(v) \ll 1. \quad (3.9)$$

Zaključuje se da samo mali postotak elektrona ima dovoljnu termičku energiju koja je potrebna za napuštanje metala. [1]

### 3.1. Izvod Dushman-Richardsonove formule

Koordinatni sustav ćemo definirati tako da je izlazna ploha metala okomita na z os. Iz metala izlaze elektroni kojima brzina u smjeru z osi nije manja od kritične brzine  $v_0$  određene relacijom:

$$\frac{mv_0^2}{2} = V_0. \quad (3.10)$$

Iznos gustoće struje dobit ćemo kao sumu preko spina i valnog vektora za sve raspodjele z - komponente brzina

$$j = \sum_{s\vec{k}} ev_z \rho(v) \quad (3.11)$$

gdje je  $e$  iznos elektronskog naboja. U plinu slobodnih elektrona unutarnja energija definirana je kao kinetička te se može uvrstiti u Fermi-Diracovu funkciju raspodjele (3.4) koja sada ovisi o brzini elektrona

$$\rho(v) = \frac{1}{e^{\left(\frac{mv^2}{2} - E_F\right)/k_B T} + 1} \quad (3.12)$$

i vrijedi za elektronski plin u unutrašnjosti metala. Raspodjela elektrona izvan metala prema jednadžbi (3.8) postaje:

$$\rho(v) = e^{\frac{E_F}{k_B T} - \frac{mv^2}{2k_B T}}. \quad (3.13)$$

Preko spina i valnog vektora, suma iz izraza za gustoću struje (3.11) transformira se u integral

$$j = \frac{2}{(2\pi)^3} \int ev_z e^{\frac{E_F}{k_B T} - \frac{mv^2}{2k_B T}} d^3k \quad (3.14)$$

i uvrsti funkcija raspodjele (3.13).

Supstitucija u prethodnoj jednadžbi uvodi se pomoću definicije valnog vektora

$$\vec{k} = \frac{m\vec{v}}{\hbar} \quad (3.15)$$

kako bi se za varijablu integracije dobila elektronska brzina i tada se računa izlazna struja

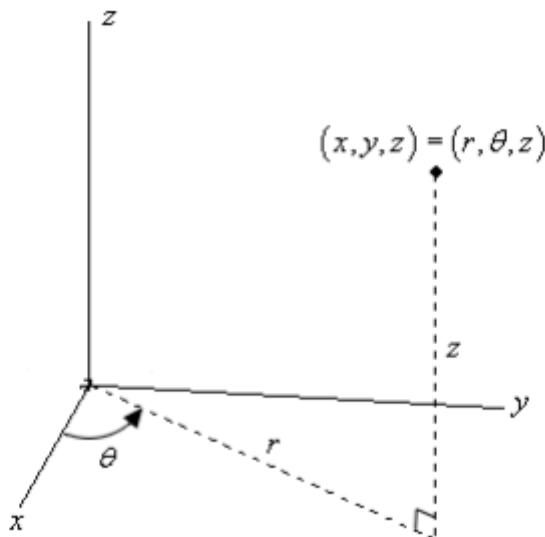
$$j = 2e \left(\frac{m}{h}\right)^3 e^{\frac{E_F}{k_B T}} \int v_z e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}} d^3v. \quad (3.16)$$

Jednadžbu je najjednostavnije riješiti u cilindričnom koordinatnom sustavu (slika 6.) pa se brzina rastavlja na komponente

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2. \quad (3.17)$$

Uvodeći oznaku:

$$u^2 = v_x^2 + v_y^2 \quad (3.18)$$



Slika 6. Cilindrični koordinatni sustav [4]

integral se raspisuje kao



$$\int d^3v = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\infty} u du \int_{v_0}^{\infty} dv_z. \quad (3.19)$$

Kinetička energija elektrona brzine  $v_0$  po izlasku iz metala u potpunosti prelazi u potencijalnu energiju tako da će njegova brzina nula. Kada uvjete (3.17), (3.18) i (3.19) uvrstimo natrag u jednadžbu (3.16), za gustoću struje dobivamo

$$j = 2e \left(\frac{m}{h}\right)^3 e^{\frac{E_F}{k_B T}} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\infty} e^{-\frac{mu^2}{2k_B T}} u du \int_{v_0}^{\infty} e^{-\frac{mv_z^2}{2k_B T}} v_z dv_z. \quad (3.20)$$

Integrali se riješe koristeći supstituciju te izraz za gustoću struje postaje

$$j = 4\pi e \left(\frac{m}{h}\right)^3 e^{\frac{E_F}{k_B T}} \left(\frac{k_B T}{m}\right)^2 e^{-\frac{mv_0^2}{2k_B T}}. \quad (3.21)$$

U zadnjem članu jednadžbe u eksponentu se može prepoznati izraz za kinetičku energiju elektrona pri kritičnoj brzini opisan izrazom (3.10) i da je razlika Fermijeve energije i dubine potencijalne jame prema (3.2) jednaka negativnom iznosu izlaznog rada. Uvažavajući te dvije relacije i kraćenjem masa  $m$ , izraz za gustoću struje pojednostavljuje se na sljedeći izraz

$$j = \frac{4\pi e m (k_B T)^2}{h^3} e^{-\frac{\Phi}{k_B T}}. \quad (3.22)$$

Izvođenjem izraza za gustoću struje počevši od pretpostavke da se elektron u metalu giba u pravokutnoj potencijalnoj barijeri, dobije se izraz koji se slaže se Dushman-Richardsonovom formulom (3.1). Iz jednadžbe (3.22) može se iščitati vrijednost parametara  $A$

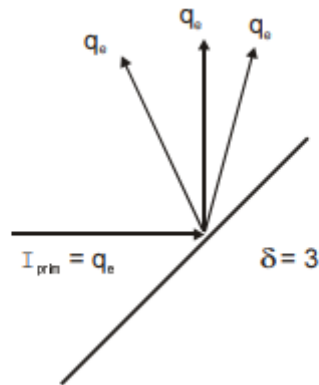
$$A = \frac{4\pi e m k_B^2}{h^3} = 120 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}. \quad (3.23)$$

Dobivena vrijednost parametra dobro se podudara s eksperimentalnim rezultatima iz **tablice 1**. Struju koju tvore emitirani elektroni zavisi o temperaturi ugrijanog tijela. Temperaturna ovisnost

je istovremeno eksponencijalnog i kvadratnog oblika s tim da eksponencijalni član dominira te porastom temperature i gustoća struje naglo raste. [4]

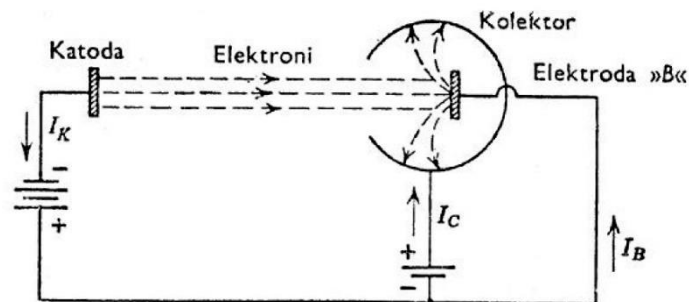
#### 4. SEKUNDARNA EMISIJA

Do emisije sekundarnih elektrona dolazi kada se neki čvrsti materijal izloži bombardiranju čestica iz vanjskog, primarnog, izvora. Ovisno o vrsti i energiji čestice koje udaraju u metal varirat će količina emitiranih elektrona. Čestice koje udaraju u metal nazivaju se primarne čestice, a emitirani elektroni sekundarne čestice. [3]



Slika 7. Sekundarna emisija [3]

Energija potrebna za emisiju dobiva se iz kinetičke energije upadne čestice. Elektroni ispod površine mogu biti emitirani kada prime dovoljno veliku energiju da svladaju sile koje ih zadržavaju. Slika 8. predstavlja eksperimentalni uređaj pomoću kojega se prikazuje sekundarna emisija.



Slika 8. Uređaj za demonstriranje sekundarne elektronske emisije [2]

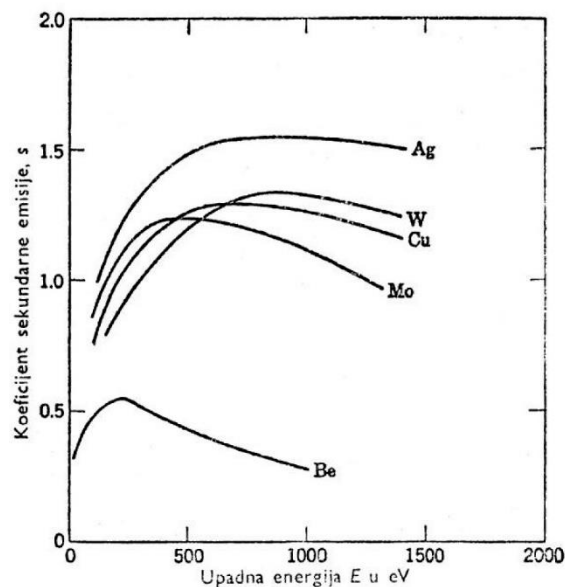
Primarni elektroni iz katode udaraju na elektrodu  $B$ . Na elektrodi  $B$  apsorbira se struja  $I_B$  koja se razlikuje od struje  $I_K$  emitirane sa katode zbog toga što se sekundarni elektroni emitiraju sa elektrode  $B$  i padaju na kolektor. Struja iz katode ravna je algebarskoj sumi struje  $I_B$  i emitirane struje sekundarnih elektrona  $I_e$ . Koeficijent sekundarne emisije  $s$  definira se kao odnos

$$s \equiv \frac{I_C}{I_K}. \quad (4.1)$$

Eksperimentalno je dokazano da je za primarne elektrone određene upadne energije struja  $I_C$  direktno proporcionalna  $I_K$ , odnosno da je  $s$  konstantno.

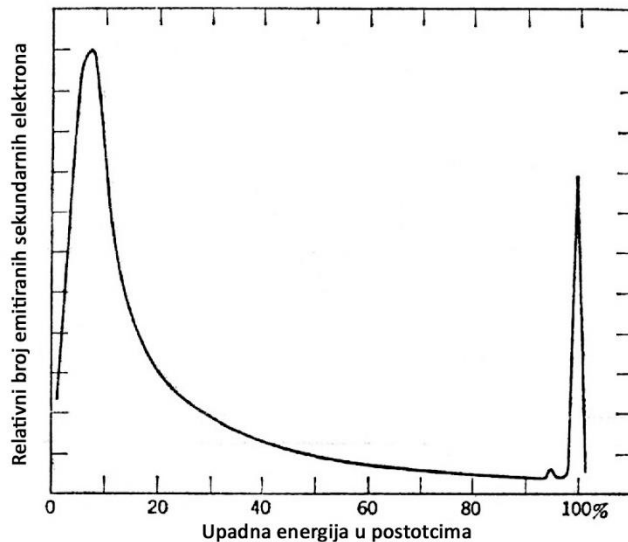
U nastavku se opisuju neka važna svojstva sekundarne emisije.

1. Na slici 9. je prikazan koeficijent sekundarne emisije za nekoliko metala u funkciji energije primarnih elektrona. Za čiste metale koeficijent sekundarne emisije ima maksimum energije upadnih elektrona između 200 i 1000 eV, a maksimalna vrijednost je između 0,5 i 1,5.



Slika 9. Koeficijent sekundarne emisije za metale u funkciji energije upadnih elektrona [2]

- Približna raspodjela energija emitiranih sekundarnih elektrona za čisti metal prikazana je na slici 10. Većina emitiranih elektrona ima energije ispod 20eV. Vrh na desnoj strani grafa predstavlja 30% sekundara i potiče od elektrona emitiranih s energijom vrlo bliskoj primarnoj energiji i zaključuje se da su to elektroni koji su pretrpjeli elastično odbijanje od površinskih atoma.



Slika 10. Relativan broj sekundarnih elektrona u funkciji energije sekundarnih elektrona, izražene u postocima energije primanih čestica[2]

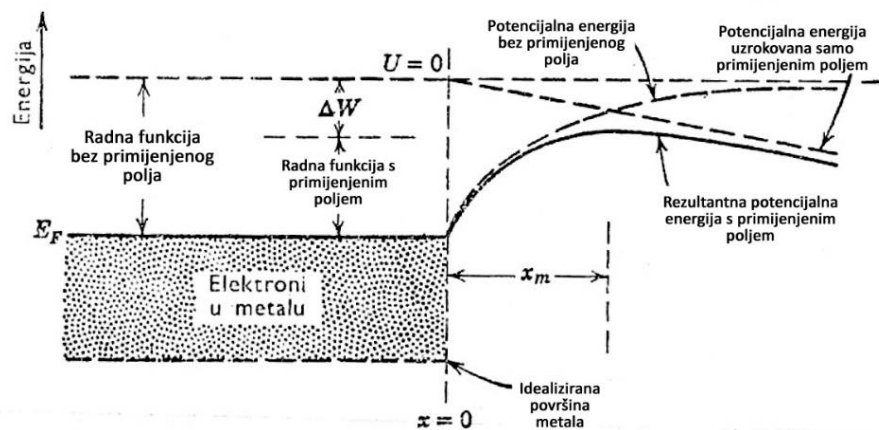
- Odnos sekundarnih prema primarnim elektronima je najmanji kada primarni elektroni upadaju na površinu normalno i on raste s kutom upada.
- Mogu se pripremiti metalne površine s ciljem povećanja emisije sekundarnih elektrona. Oksid cezija na bazi srebra je jedan od najpoznatijih emitera.
- Bombardiranje pozitivnim ionima može uzrokovati sekundarnu emisiju, ali je manje efikasno od električnog bombardiranja. Razlog tome je to što se u sudaru između teškog iona i elektrona na elektron može prenijeti samo jedan mali dio energije iona.
- Sekundarni elektroni se mogu emitirati i sa izolatora. Ovisnost koeficijenta sekundarne emisije od primarne energije za izolatore po obliku je slična krivuljama prikazanim na slici 9. Neki izolatori imaju koeficijent sekundarne emisije u vrijednosti od 10 do 15.
- U eksperimentima za mjerenje sekundarne emisije površina izolatora brzo postaje naelektrizirana pa je teško odrediti kinetičku energiju upadnih elektrona. Površina će dobiti pozitivan naboj ako je  $s$  veće od jedinice, a negativni naboj ako je  $s$  manje od jedinice.

Svaki primarni elektron može udariti nekoliko atoma. Promatranje količine kretanja čestica pokazuje da normalno usmjereni primarni elektron ne može dati slobodnom elektronu komponentu brzine umjerenu prema površini, ali može elektronu površinskog atoma. Kada se energija primara poveća, on može udariti više atoma blizu površine i također osloboditi više elektrona. Kada se energija poveća iznad točke maksimalne emisije na slici 6., površinski atomi su izloženi sili elektrona tokom kraćeg vremena i vjerojatnost sudara opada. Pretpostavlja se da se pri energijama maksimalne emisije većina elektrona oslobodi na dubini nekoliko atoma. Što primar pri većim energijama dublje prodire, to dovodi do manje vjerojatnosti da će otrgnuti elektroni stići do površine. Postoji dokaz da neki sekundarni elektroni potiču čak s dubine od 15 do 30 atomski slojeva ispod površine. [2]

## 5. EMISIJA ELEKTRIČNIM POLJEM

Jedan od načina dobivanja elektrona je jakim električnim poljima. Promatra se slučaj kada električno polje djeluje na površinske elektrone silom usmjerenom prema van i takvo polje dovodi do pojačane struje emisije. Postoje dva osnovna mehanizma koja dovode do porasta emisije:

1. Ako je polje slabo ili umjereno, ono snižava barijeru potencijalne energije i time smanjuje efektivnu radnu funkciju. Ovaj proces naziva se Schottkyjev efekt.
2. Pri jakim električnim poljima širina barijere potencijalne energije postaje toliko mala da se može doći do kvantnomehantičkog tunelskog efekta. Postoji mala, ali konačna vjerojatnost da neke od čestica prođu kroz barijeru konačne širine iako one, prema klasičnoj fizici, nemaju energiju dovoljnu za to. Ova pojava naziva se tunelski efekt ili tuneliranje.



Slika 11. Potencijalna energija elektrona u blizini površine metala pri umjerenim primijenjenim poljima[2]

### 5.1. Schottkyjev efekt

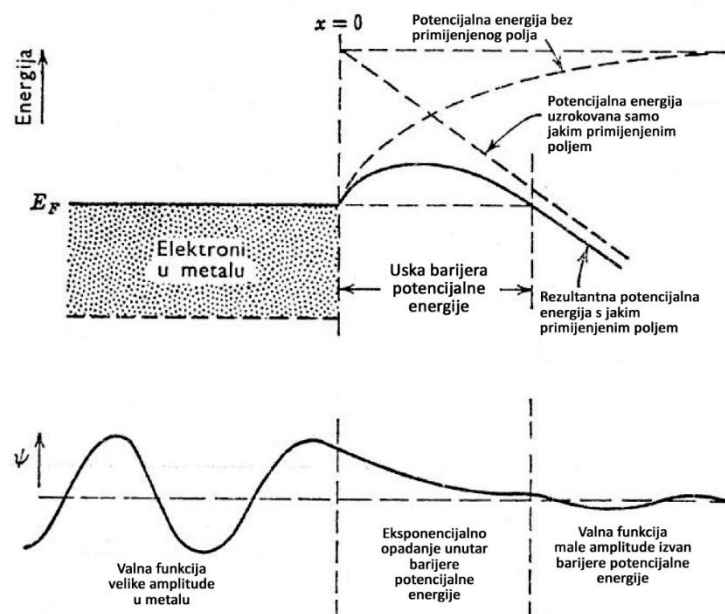
Na slici 11. prikazan je izgled barijere potencijalne energije na površini metala pri umjerenom primijenjenom polju i bez njega. Potencijalna energija uzrokovana promjenom vanjskog polja je linearna funkcija položaja. Zbog toga što je potencijalna energija skalar, cjelokupna potencijalna energija u prisustvu primijenjenog električnog polja jednaka je zbroju potencijalne energije uslijed primijenjenog polja i potencijalne energije kada nema polja. Energija za oslobađanje elektrona je energija potrebna za svladavanje potencijalne energije. Primjenom električnog polja, smanjuje se

visina barijere i tada je moguće da se više elektrona oslobodi, a cjelokupna struja emisije se povećava u prisustvu električnog polja.

Gustoća struje  $J$  u prisustvu umjerenog električnog polja dana je Schottkyjevom jednačbom

$$J = J_{th} e^{0,440 \frac{\sqrt{\epsilon}}{T}} \quad (5.1)$$

gdje je  $\epsilon$  jačina polja, a  $T$  temperatura.



Slika 12. Potencijalna energija i valna funkcija elektrona u blizini površine metala pri jakom primijenjenom električnom polju[2]

Kada se primjene jaka polja kao što je prikazano na slici 12, efektivni izlazni rad se snižava i doprinos Schottkyjevog efekta struji emisije se povećava. Pri vrlo jakim poljima struja emisije postaje nezavisna o temperaturi i puno veća nego što se pretpostavlja na osnovu Schottkyjevog efekta. Uspoređujući slike 12 i 11 vidi se da potencijalna barijera postaje uža, kada se primijenjeno polje povećava. Kako bi došlo do emisije pri jakom polju barijera mora postati jako tanka da kroz nju prođe val male konačne amplitude vjerojatnosti i da se pojavi izvan nje. Vjerojatnost da se jedan elektron nađe u blizini neke točke dana je kvadratom valne funkcije i tada postoji konačna



vjerojatnost da se elektron pojavi izvan barijere. Vidi se da pri emisiji u jakom polju elektroni ne moraju imati dovoljnu energiju da pređu preko barijere. Pri emisiji u jakom polju velik je broj elektrona na raspolaganju jer svaki elektron može sudjelovati u prolasku kroz barijeru pa tada i mala vjerojatnost izlaska dovodi do vrlo velikih gustoća struja emisije. [2]

## 6.ZAKLJUČAK

Svijet nekada nije bila kompliciran kao što je danas. Postoje teorije i fizikalni zakoni koji su dobro opisivali tadašnji svijet i činilo se kao da je to dovoljno za razumijevanje istoga. Kraj 19. stoljeća donio je nove teorije koje su zauvijek promijenile tadašnji pogled na svijet. Jedni od fenomena upravo su fotoemisija i termionski efekt. Fotoni imaju određenu količinu energije. Ako elektron apsorbira energiju fotona i njegova energija bude veća od izlaznog rada, tada dolazi do pojave emisije elektrona te takvu pojavu nazivamo fotoemisija. Termionski efekt je pojava pri kojoj se zagrijavanjem metala događa emisija elektrona. Broj elektrona ovisi o vrsti metala i temperaturi te je efekt kao takav dobro opisan Dushman-Richardsonovom jednadžbom. Ova dva prethodno opisana fenomena zapravo su ista samo izazvana na drugačiji način. Pri bombardiranju čvrstog materijala česticama, kao što su ioni ili elektroni, dolazi do emisije elektrona. Na principu fotoelektričnog efekta i sekundarne emisije radi fotomultiplikatorska cijev. Sekundarna emisija također može biti od značaja kod projektiranja elektronskih cijevi. Još jedan način na koji se elektroni mogu dobiti jest djelovanjem jakog električnog polja. Emisija pri jakom polju predstavlja poseban koristan izvor elektrona. Ona se koristi u elektronskom mikroskopu i zbog takve emisije do sada je postignuto najveće razlučivanje detalja na atomskom nivou. Emisija pri jakom polju je u mnogim slučajevima štetna i nastoji se izbjeći u eksperimentima s visokim naponom.

## 7.LITERATURA

- [1] Šips, V. Uvod u fiziku čvrstog stanja: Zagreb: Školska knjiga, 1991.
- [2] Hemenway, C; Henry, R; Caulton, M. Fizička elektronika: Beograd: Građevinska knjiga, 1974.
- [3] Papić, V. Predavanja iz osnova elektronike: Split: Sveučilište u Splitu, 2005.
- [4] [Poljak, E. Termionski efekt i njegove primjene: Zagreb, 2017.](#)
- [5] [Matoničkin, G. Elektromagnetski valovi u nastavi fizike: Zagreb, 2007.](#)