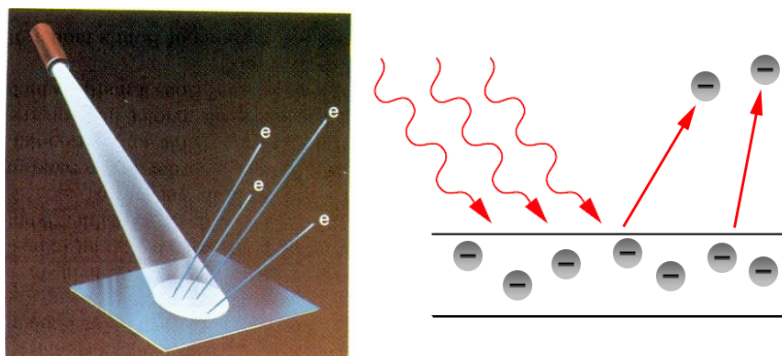


ФОТОЕЛЕКТРИЧНИ ЕФЕКАТ – ФОТОЕФЕКАТ

Фотоефекат је појава избацивања електрона из метала помоћу свјетлости.

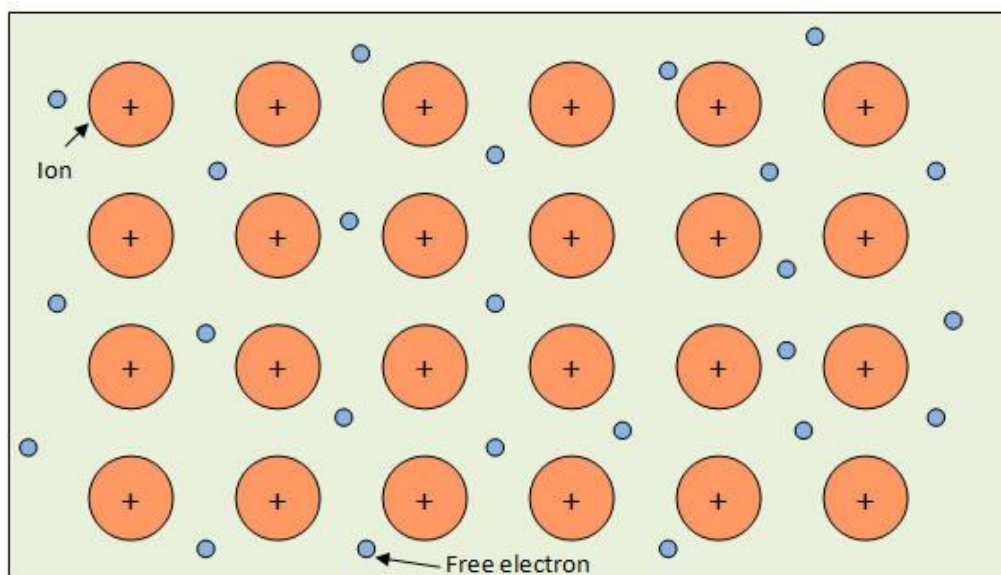


Ову појаву је први запазио Херц (1887.). Он је примијетио да се између двије електроде од цинка, које су повезане са Румкорфовим индуктором, прескаче електрична варница при знатно нижем напону ако се негативно наелектрисана електрода озрачи ултраљубичастим зрацима. Истраживања су показала да неки други метали (алкални – литијум, натријум, калијум, рубидијум, цезијум; земноалкални – берилијум, магнезијум, калцијум, стронцијум, баријум) емитују електроне и то кад се озраче видљивом свјетлошћу. Врло мали број супстанци емитује електроне под утицајем инфрацрвеног зрачења.

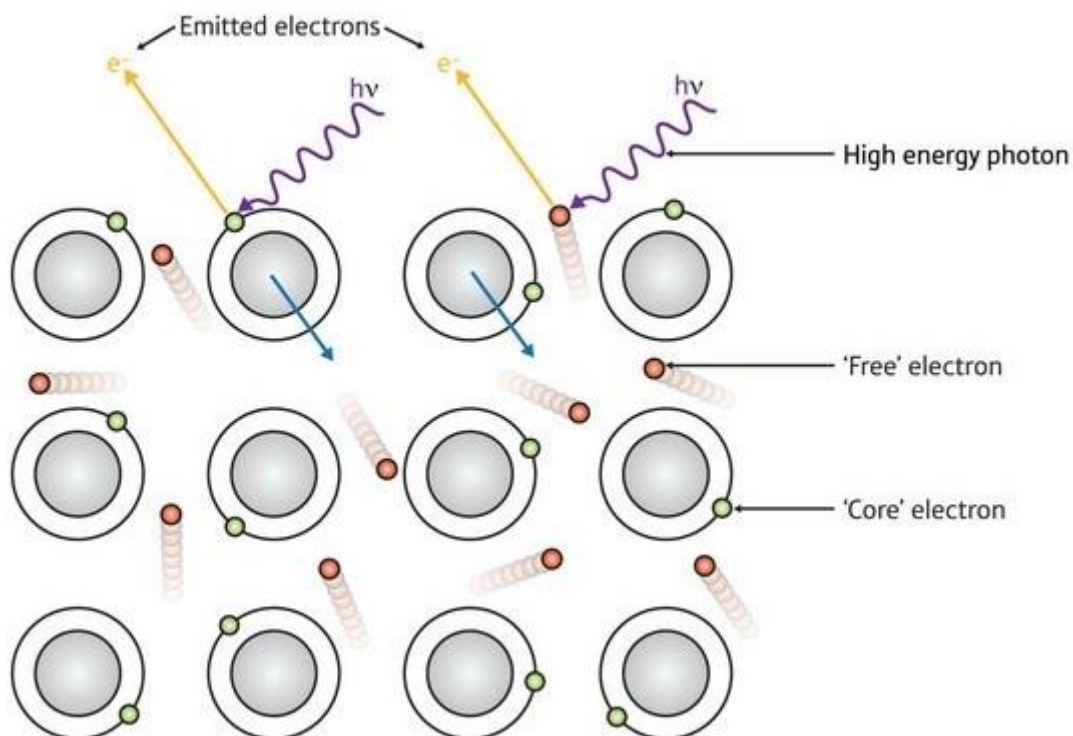
Појава да неки метали емитују електроне са своје површине док су под утицајем свјетлосних зракова названа је фотоефекат, а електрицитет који се добија на тај начин, фотоелектрицитет.

Да би било разумљиво – на који начин свјетлост омогућава искакање електрона из метала катоде – треба разумјети прво због чега електрони не искачу из хладне и неосвијетљене катоде. Атоми метала су распоређени у чворовима кристалне решетке. Због мале енергије потребне за јонизацију из валентног нивоа атома метала, највећи број атома је испустио један, два или три електрона (што зависи од тога да ли је метал елемент I, II или III групе периодног система) у међуатомски простор. Зато се у чворовима кристалне решетке метала налазе позитивни јони (атоми са мањком

електрона), док је међуатомски простор метала испуњен облаком електрона који се крећу хаотично, али су им брзине јако мале, што указује на њихову занемарљиво малу кинетичку енергију.



Посматрајмо сада један електрон који је случајно кренуо ка излазу из метала, али притом мора да прође између два гранична јона. Како су они позитивни, а електрон је негативан, јони на електрон делују јаком Кулоновом привлачном силом – вукући га назад ка металу. Да би успео да изађе из метала електрон мора да има довољно велику брзину за савладавање овог привлачења, тј. да има довољно велику кинетичку енергију. Како је кинетичка енергија електрона у међуатомском простору занемарљиво мала, јасно је да електрон не може да напусти метал без помоћи са стране. Управо то постижемо када метал освијетлимо. Електрони апсорбују енергију свјетлости и на тај начин повећавају своју кинетичку енергију, тј. брзину тако да постану способни да изађу из метала.



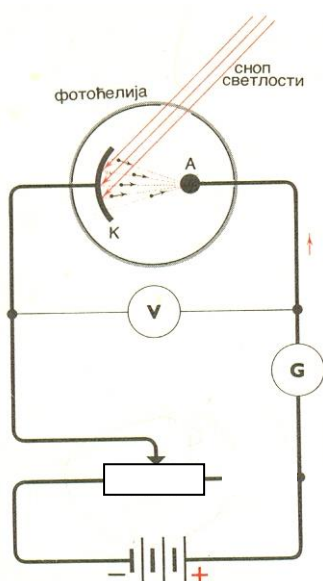
У случају да електрон добије довољно енергије да савлада привлачну силу јона, логично је да ће при њеном савладавању доћи до смањивања његове брзине (јер га резултујућа Кулонова сила вуче у смјеру супротном од смјера његовог кретања). То значи да ће доћи до смањења кинетичке енергије тог електрона, тј. електрон ће морати да потроши извјесну количину енергије да би изашао из метала. Та потрошена количина енергије је једнака излазном раду електрона из метала.

Значи:

Да би електрон напустио метал, он мора да прими енергију да би могао да изврши рад против електричне силе којом га привлаче позитивни јони из кристалне решетке. Минимална енергија коју треба да прими електрон да би напустио површину метала једнака је излазном раду. Излазни рад зависи од **хемијског састава метала** и **чистоће његове површине**. Излазни рад за већину метала износи неколико електронволти (не више од 10eV).

Електрони избачени из метала помоћу свјетлости називају се фотоелектрони.

Уређај за експериментално испитивање фотоефекта:



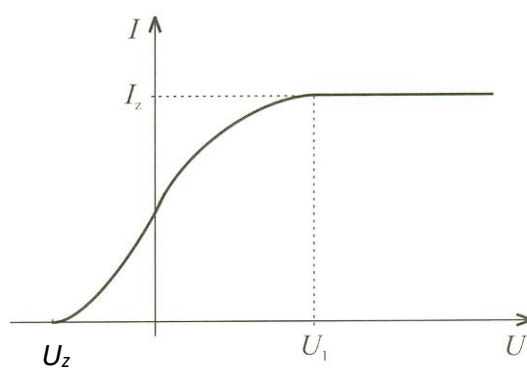
галванометар (G) – мери јачине електричне струје

волтметар (V) – мери потенцијалну разлику (напон) између аноде и катоде

потенциометар (променљиви отпорник) – користи се за промјену напона између аноде и катоде

Свјетлосни сноп је усмјерен на катоду (фотокатоду). Електрони, које емитује катода (K), крећу се под дејством електричног поља према аноди (A). Тако се у колу успоставља електрична струја (фотоелектрична струја).

Зависност електричне струје I од напона U између електрода при сталном интензитету свјетлости која пада на катоду:



Са графика се види да фотоелектрична струја веома брзо достиже максималну вриједност (при неком релативно малом напону). При том напону сви емитовани електрони долазе до аноде. Ова струја се назива **струја засићења** (I_z). Струја засићења представља број електрона које катода емитује у јединице времена.

Даљим повећавањем напона између електрода не мијења се јачина електричне струје.

Напомена: Број емитованих електрона зависи од интензитета свјетлости. Пошто је интензитет свјетлости константан, константан је и број број емитованих електрона у јединици времена. Број избачених електрона се не мијења при повећању напона између електрода.

При напону $U=0$ фотоелектрична струја није једнака нули, јер катода емитује електроне са неком почетном брзином па извјестан број електрона доспијева до аноде.

Губитком електрона метал (катода) постаје позитивно наелектрисан. Одласком све већег броја електрона, метал постаје све више позитивно наелектрисан, због чега све јачом силом привлачи електроне. Кад напон толико порасте, да се сви електрони враћају назад, значи да је достигао своју максималну вриједност. Та гранична вриједност напона је названа – **закочни напон** U_z . При овом напону ниједан од електрона не доспијева до аноде. Тада се комплетна кинетичка енергија емитованих електрона једнака раду електричног поља:

$$\frac{m_e v^2}{2} = eU_z$$

m_e – маса електрона

v – брзина електрона

e – наелектрисање електрона (елементарно наелектрисање)

U_z – закочни напон

$$v = \sqrt{\frac{2eU_z}{m_e}}$$

На основу ове формуле се види да мјерењем закочног напона, може да се одреди брзина (пошто су остале величине познате).

У истраживању фотоелектричног ефекта значајни су експерименти на основу којих је Ленард 1902. године утврдио да брзина којом електрони напуштају површину метала, не зависи од интензитета упадне свјетлости, већ само од њене фреквенције односно таласне дужине. Брзина електрона је утолико већа уколико је упадна свјетлост краћих таласа.

Ова чињеница не може да се објасни класичном теоријом, јер према њој би требало да брзина електрона, односно њихова енергија зависи од интензитета упадне свјетлости, тако да електрони имају све већу брзину, уколико је већи интензитет упадне свјетлости. Експерименти показују да се повећањем **интензитета упадне свјетлости** повећава само **број избачених електрона** са површине метала док **њихова брзина остаје непромијењена**. На основу класичне теорије није могло да се објасни ни зашто се **повећава и број и брзина електрона** када на метал дјелује **свјетлост краћих таласа** односно **веће фреквенције**.

Експериментима је утврђено да фотоелектрични ефекат може да настане само када на метал дјелује свјетлост одређене минималне фреквенције, односно максималне таласне дужине, која је за различите метале различита. Значи да би до фотоелектричног ефекта дошло фреквенција свјетлости мора да буде већа од неке одређене фреквенције – **гранична фреквенција** (таласна дужина треба да буде мања од неке одређене таласне дужине – **гранична таласна дужина**).

Гранична таласна дужина за неке метале:

Калијум	550 nm
Натријум	540 nm
Литијум	500 nm
Жива	273,5 nm
Гвожђе	262 nm
Сребро	261 nm

таласне дужине видљивог дијела спектра	
љубичаста	380 – 440 nm
модра (тамно плава)	440 – 460 nm
плава	460 – 510 nm
зелена	510 – 560 nm
жута	560 – 610 nm
наранџаста	610 – 660 nm
црвена	660 – 760 nm

Ова чињеница да за сваки метал постоји одређена гранична вриједност фреквенције упадне свјетлости испод које не може да наступи појава фотоелектричног ефекта, без обзира на интензитет свјетлости, није могла да се објасни класичном теоријом. Није било јасно, зашто свјетлост и најслабијег интензитета, чија је фреквенција изнад граничне вриједности, изазива фотоелектрични ефекат, док свјетлост испод те границе не изазива фотоелектрични ефекат без обзира коликог интензитета била.

Ајнштајнова једначина фотоелектричног ефекта

Експериментално је утврђено да:

- јачина струје засићења зависи од интензитета свјетлости (при повећању интензитета свјетлости расте и струја засићења)
- не постоји минимални интензитет свјетлости при којем се дешава фотоелектрични ефекат, него постоји минимална фреквенција свјетлости (фотоелектрични ефекат започиње само при одређеној минималној фреквенцији односно максималној таласној дужини названој црвена граница фотоелектричног ефекта)
- заочни напон не зависи од интензитета свјетлости већ зависи од фреквенције
- фотоелектрични ефекат се дешава тренутно (у временском интервалу мањем од 10^{-4} секунди након што се осветли катода)

Класична теорија није могла да објасни експериментално добијене податке. Према класичној теорији, свјетлост произвољне фреквенције (таласне дужине) која има довољан интензитет може да изазове фотоелектрични ефекат. При томе би и брзина емитованих електрона требало да расте са повећањем интензитета свјетлости, што је било у супротности са експериментима.

Проблем је ријешио Ајнштајн, проширујући Планкову претпоставку. За објашњење фотоелектричног ефекта била је довољна претпоставка да се електромагнетно зрачење апсорбује у квантима. Ајнштајн је отишао још даље, претпостављајући да се свјетлост и простира у облику кванта свјетлости – фотона. Значи и свјетлост је квантна појава. Према Ајнштајну сваки квант светлости или фотон има енергију која износи:

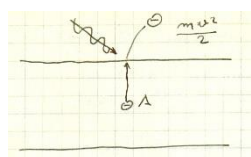
$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

На основу ове формуле се види да је енергија фотона већа уколико свјетлост има већу фреквенцију, односно краћу таласну дужину.

Ајнштајново објашњење фотоелектричног ефекта:

Енергија сваког апсорбованог фотона који падне на плочу троши се излазни рад и кинетичку енергију емитованог електрона.

$$hf = A_i + \frac{m_e v^2}{2}$$



Ова формула представља **Ајнштајнову једначину фотоелектричног ефекта**.

гдје је:

hf - енергија фотона

A_i - излазни рад

$\frac{m_e v^2}{2}$ - кинетичка енергија емитованог електрона

Слагање Ајнштајнове једначине са експерименталним подацима:

- ако је већи интензитет свјетлости, већи је број кванта енергије, па се већи број електрона избаци у јединици времена – струја засићења је сразмјерна интензитету свјетлости
- постојање минималне фреквенције при којој долази до фотоелектричног ефекта – црвена граница фотоелектричног ефекта:

(Свјетлост чија је енергија фотона једнака излазном раду електрона из метала још увијек може изазвати фотоелектрични ефекат, али у том случају електрони потроше сву енергију добијену од фотона на излазак из катоде, па се по изласку из метала

зауставе јер им ништа не преостане за кинетичку енергију. Оваква свјетлост се назива црвена граница за фотоефекат. Свјетлост веће таласне дужине нема довољну енергију фотона да би изазвала фотоефекат, док свјетлост краће таласне дужине изазива фотоефекат.)

$$\frac{m_e v^2}{2} = 0 \quad hf_0 = A_i$$

$$f_0 = \frac{A_i}{h}$$

односно

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A_i}$$

таласна дужина – **црвена граница фотоефекта**

- закочни напон је одређен максималном кинетичком енергијом

$$\frac{m_e v^2}{2} = eU_z$$

пошто је: $hf = A_i + \frac{m_e v^2}{2}$

$$\text{добија се да је: } U_z = \frac{h}{e} f - \frac{A_i}{e}$$

одакле се види да закочни напон зависи само од фреквенције

- чим свјетлост падне на метал, електрон апсорбује квант енергије – фотоефекат се дешава тренутно.

Енергија избачених електрона зависи само од фреквенције свјетлости, док од интензитета свјетлости зависи само број избачених електрона. Зрачења малих фреквенција имају фотоне чија енергија је мања од енергије везе електрона у металу, па се повећањем интензитета такве свјетлости само повећава само број таквих фотона који неуспјешно покушавају да доведу до емисије електрона.

Примјене и врсте фотоелектричног ефекта

Можемо да разликујемо три врсте фотоефекта:

- спољашњи фотоефекат

- унутрашњи фотоефекат
- фотоефекат у коме фотон интерагује са електронима у атому

Појава избацивања електрона из метала представља спољашњи фотоефекат. Ова врста фотоефекта се примјењује у фотоћелијама. У фотоћелијама се свјетлосни импулси претварају у електричне импулсе. Употребљавају се у аутоматизованој производњи, у уређајима за аутоматско отварање и затварање врата, у алармним уређајима, за мјерење интензитета свјетлости...

Појава у којој електрон не напушта материјал, већ само прелази у стање у коме постаје лако покретан под дејством спољашњих електричних поља назива се унутрашњи фотоефекат. Пошто електрон не напушта материјал, за ову врсту фотоефекта су потребне мање енергије фотона. Поред видљиве свјетлости може да се користи и инфрацрвено зрачење. Користи се при конструкцији фотоелемената односно соларних ћелија, сензора слике (CCD) у дигиталним фотоапаратима и камерама...

Фотон може да интерагује и са електронима који су везани у атому. Да би се такав електрон ослободио из атома потребни су фотони са већим енергијама (веће од десетак eV). У овим процесима могу да учествују само фотони далеког ултраљубичастог, X и гама зрачења. Овај процес може да се користи за детекцију високоенергетских зрачења.

Додатак:

