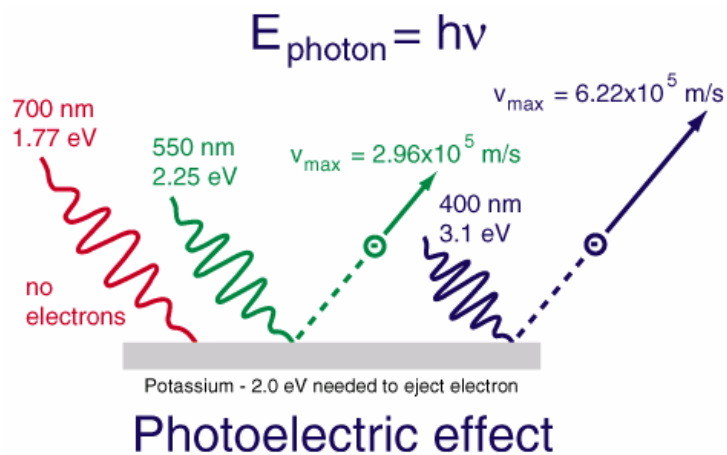


Универзитет св.Кирил и Методиј-Скопје  
Природно Математички факултет

Семинарска работа

Предмет: Атомска и нуклеарна физика

Тема: Фотоелектричен ефект



Изработил  
Саздова Ирина

ментор  
проф.д-р Драган Јаќимовски

Скопје, Јуни, 2008

Се до средината на 17-ти век се верувало дека светлоста се состои од множество на честички. Овие честички се емитирани од светлосните извори како што се Сонцето или пламенот на светлата и се движат од нив по прави линии. Тие можат да поминат низ провидни материи, а се одбиваат од површините на непроѕирните материи. Кога честичките ќе стигнат до окото предизвикуваат чувство на вид.

Ако за мерила на прикладност на некоја теорија се зема нејзината способност да ги објасни познатите експериментални податоци со минимум хипотези мора да се признае дека корпускуларната теорија е одлична. Корпускуларната теорија егзистира уште од Емпедокле и подоцна потпомогната од големиот авторитет на Њутн (таткото на класичната механика) , а по тоа и од Лапласт доби предност пред брановата теорија на светлината која датира уште од Аристотел, а чии приврзаници се големите физичари : Декарт, Хајгенс, Френел и Ојлер.

Уште во 1887 година Херц забележал дека меѓу две електроди од цинк врзани за половите на Румкофов индуктор кој се осветлува со ултра виолетова светлина, прескокнува електрична искра и при нивен низок напон.

Столетов оваа појава ја испитувал во 1888г., исто како и Халвакс. Испитувањата покажаа дека и некои други метали особено алкалните и земно алкалните кога ќе се озрачат со ултравиолетова светлина, емитуваат електрони. Било утврдено дека:

-негативно наелектризираните метали **K, Na, Li, Zn, Rb, Be, Mg, Ca, Sr, Ba** брзо се разелектризираат;

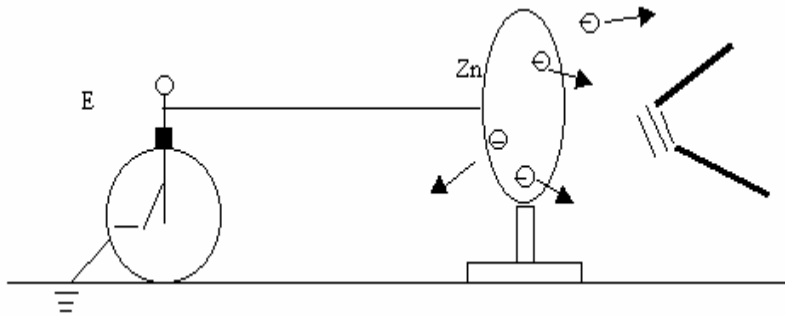
-а електронеутралните се наелектризираат позитивно.

-јачината на струјата што се јавува (протокот на електрони) е пропорционална со интензитетот на упадната светлина.

Електроните што ги емитуваат металите под дејство на светлосните зраци ги викаме **фотоелектрони**.

Појавата при која некои метали емитуваат од својата површина електрони доколку се под дејство на светлосни зраци ја викаме **фотоелектричен ефект**. Се набљудува и кај гасовите (фотојонизација). Струјата што протекува е **фотоструја**.

Со својот експеримент, Столетов утврдил дека со осветлување на амалгамисана цинкова (Zn) плоча прицврстена на изолирана рачка, со ултравиолетови зраци што ги дава Волтин лак веднаш се празни (разелектризира) електроскопот E, кој претходно бил негативно наелектризиран.

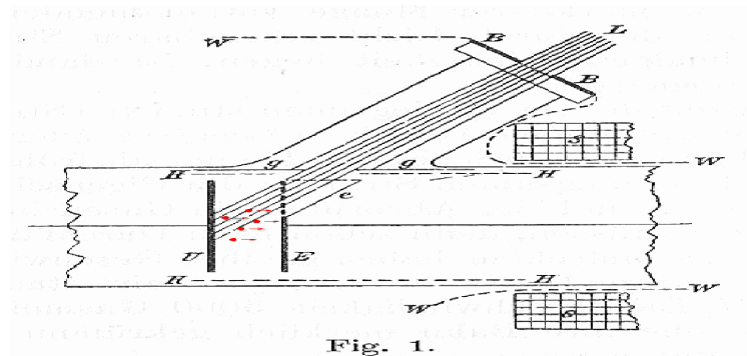


**Објаснување:** Оваа појава настанала како резултат на влијанието на зраците со кратка бранова должина (UV) врз цинковата плоча при што емитирала електрони во воздухот па поради тоа се наелектризирала позитивно. Бидејќи цинковата плочка проводно е сврзана со електроскопот E на кој се наоѓа негативен електрицитет, разбирливо е зошто настапува празнење на електроскопот

Постојат **надворешен, внатрешен вентилен фотоефект.**

Во испитувањето на фотоефектот од особена важност има Ленард кој во 1902 година утврдил дека брзината на електроните кои при озрачувањето излегуваат од површината на некој метал не зависи од интензитетот на упадната светлина туку само од нејзината бранова должина (фреквенција) и тоа така што брзината на електроните е поголема доколку брановата должина на упадната светлина е помала (односно фреквенцијата е поголема).

Модел на Ленардовиот експеримент:



### Законитости:

Наједноставен начин за откривање е со еден експеримент во кој користиме евакуирана цевка направена од кварцно стакло. Во цевката се поставени две електроди, а на нив е приклучен еднонасочен електричен напон од батеријата .

Напонот на електродите, што се мери со волтметарот, преку потенциометарот, може да се менува по големина и по знак. Јачината на фотострујата се мери со галванометар. Кварцното прозорче ја пропушта како видливата така и ултравиолетовата светлина. На катодата е нанесен тенок слој од металот чиј фотоефект се испитува. При осветлување на катодата со монохроматска светлина од нејзината површина се избиваат електрони, кои под влијание на електрично поле од напонот се придвижуваат кон анодата.

**Јачината на фотострујата зависи од приложениот напон и бројот на избиените електрони.**

Со експериментот се забележува дека **емисијата на електрони силно зависи од интензитетот на светлинскиот флуks** што паѓа на катодата.

-Фотострујата има некоја вредност  $I_0$  и кога  $U=0$ . (причина е што определен број број фотоелектрони исфрлени од катодата имаат доволно кинетичка енергија за да стигнат до анодата.

- За да се постигне  $I=0$  треба да се приложи негативен напон. Тој има определена вредност  $U=U_z$  и се нарекува **закочен напон**. При таков напон и најбрзите фотоелектрони не можат да го совладат полето за да стигнат до анодата.

-Работата на сопирачкото електрично поле се изедначува со кинетичката енергија

на електроните:

$$\frac{m V_{\max}^2}{2} = eU_z$$

Со мерење на напонот може да се пресмета максималната брзина на

фотоелектроните

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{2eU_z}{m}}$$

-Со наголемување на напонот се повеќе фотоелектрони се способни да стигнат до анодата. За некој напон  $U_s$ , јачината на фотострујата достигнува максимална вредност  $I_s$ , додека со понатамошно зголемување на напонот таа не се променува.

$U_s$  е напон на заситување, а  $I_s$  е **струја на сатурација**-заситување.

-Со наголемување на брановата должина на светлинските зраци, кинетичката енергија на избиените фотоелектрони се намалува, а за доволно големи фотоелектроните исчезнува. Најголемата бранова должина  $\lambda_{\max}$  при која сеуште се набљудува фотоелектрон е наречена **црвена граница на фотоелектронот**. За различни материјали е различна, има различна вредност.

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{A}$$

За современата физика фотоелектричниот ефект е од огромно значење. Меѓутоа било наидено на тешкотии во неговото објаснување со помош на Максвеловата електромагнетна теорија (поради корпускуларната природа). Објаснувањата на законитостите на фотоелектронот ги дал Алберт Ајнштајн во 1905г., а подоцна ги разработил Макс Планк.

По публикуваното објаснување на зрачењето на црно тело на Планк во 1900г., Ајнштајн ја употребил неговата идеја за кванти (порции), од кои би се состоел светлосниот зрак.



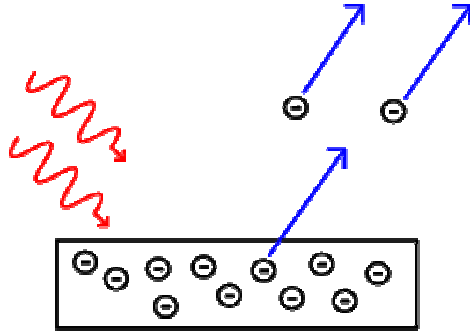
Според него, светлосната фреквенција не само што се испушта во поединечни кванти, туку и се шири во пространството и абсорбира супстанција во поединечни кванти. На тој начин простирањето на светлината треба да се разгледа не како непрекинат бранов процес, туку како проток во просторот на светлосни кванти кои се движат со брзина на светлината во вакуум.

Оваа теорија со кванти ја разработил Планк покажувајќи дека енергијата на светлината не само што се зрачи во определени кванти туку и таа самата се состои од такви кванти. Овие кванти на зрачењето ги нарекол *фотони*. Енергијата на еден таков фотон согласно со Планковата хипотеза е

$$E=hf$$

каде што  $h$  е Планковата константа а  $f$  фреквенција на определен квант. За монохроматска светлина со фреквенција сите фотони поседуваат иста енергија  $hf$ .

Апсорпцијата на светлината од материјалите е објасната со тоа што фотоните ја предаваат својата енергија на честичките од супстанцијата одеднаш, т.е. дисконтинуирано, како во просторот, така и во времето.



Фотоефектот, произлегува дека е последица на интеракцијата на светлинскиот фотон и врзаниот електрон кои во даден момент ја разменуваат својата енергија. Се добива енергетски баланс од законот за запазување на енергијата кој гласи:

$$hf = A + \frac{mV^2}{2}$$

и претставува *Ајнштајнова релација за фотоефект*.

Според неа, дел од енергијата на секој апсорбиран фотон се троши за вршење на излезна работа на електронот од материјалот  $A$ , а преостанатиот дел се претвора во кинетичка енергија на електроните ( $\frac{mV^2}{2}$ ). **За различни материјали вредноста на излезната работа е различна.** Најголема кинетичка енергија ќе имаат електроните кои ги апсорбираат фотоните во близина на површината од металот бидејќи не ја губат примената енергија при судир со други честички.

Со Ајнштајновата релација за фотоефектот може да се добие брзината на фотоелектроните со маса  $m_e$  кои ја напуштаат површината на металот.

$$V = \sqrt{\frac{2(hf - A)}{m_e}}$$

Со намалување на фреквенцијата на светлината пропорционално се намалува кинетичката енергија на фотоелектроните и за некоја доволно мала вредност  $f = f_{\min}$ , фотоефектот нема да постои. Тоа е аналогно на максималната бранова должина на монохроматска светлина која може да предизвика фотоефект. Тоа е за енергија на фотоните еднаква со излезната работа за која

кинетичката енергија на фотоелектроните по напуштањето на металите еднакво на нула.

$$hf = h \frac{c}{\lambda} = A$$

Од моментот на осветлувањето до почетокот на излезувањето на фотоелектроните и од моментот на прекинувањето на осветлувањето до моментот на престанувањето на фотострујата помонува незначително време околу  $10^{-9}$  s .

Според тоа Ајнштајновата релација за фотоефект може да добие облик:

$$eU_z = h(f - f_{\min})$$

Ова дава можност за определување на Планковата константа  $h$ .

Проверувањата на Ајнштајновата равенка го извршиле Миликен и Де Броли. Миликен проверувањата ги вршел во празен простор. Плочката на металот со чиста површина ( затоа што и најмалата нечистотија спречува да дојде до полно дејство на фотоефектот ) изложена е на монохроматска радијација. За видлива светлина треба да се употребат лесни метали како што се во групата од Li до Cs, додека ултравиолетови зраци вршат фотоелектрично дејство и врз потешки метали.

Енергијата на електроните кои излегуваат од осветлена метална површина мерена со тоа што плочката која емитира електрони е ставена на поголем позитивен потенцијал се додека не се спречи емисија на електроните. На секое зголемување на потенцијалот  $\Delta U$  одговара растење  $\Delta f$ , па се добива

$$e\Delta U = h \Delta f$$

Ова Миликен го искористил за да добие вредност за Планковата константа

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s.}$$

која се согласува со сите претходни мерења.

## Примена:

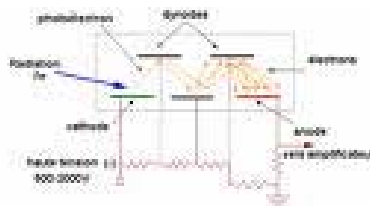
Фотоелектричниот ефект наоѓа широка примена во лабораториските мерења и во техниката. Најраспространети прибори каде што се користи фотоелектот се фотоќелиите.



**Фотоќелиите** обично се користат за претворање на промената на светлинскиот флукс во промена на интензитетот на електричната струја. Во одредени случаи, фотоќелиите може да се користат за регулирање на одредени процеси, за регистрирање на импулси и на тој начин се користат како бројачи или како прекинувачи ( вклучување и исклучување ) на електрична струја.

**Вакуумска фотоќелија**, чија работа се заснова на надворешниот фотоелект, претставува високоевакуиран кварцен или стаклен балон. Дел од внатрешната страна на балонот е покриен со слој од фотоосетлив материјал, кој обично служи како фотокатода . Во центарот на балонот се наоѓа метален прстен или мрежа како анода. Од фотоосетливиот слој и прстенот се прават изводи за сврзување на фотоќелијата во електричен круг.

Широка практична примена имаат и фотоќелиите познати како



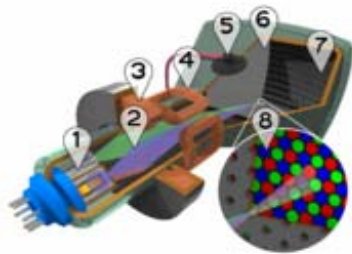
## **фотомултипликатори.**

Кај овие фотоќелии со секундарна емисија на електрони фотоелектот се зголемува по интензитет. Како и кај вакуумската ќелија и тука светлината паѓа на фотокатодата. Ослободените фотоелектрони сега се забрзуваат со првата помошна анода. Со ова забрзување фотоелектроните добиваат доволно енергија за да ослободат поголем број електрони ( 3-5 пати ) при ударот во помошната анода. Новоослободените електрони сега со поголемо забрзување паѓаат на втората

помошна анода , која е на повисок потенцијал од првата, и од неа ослободуваат уште поголем број електрони. На тој начин процесот се повторува толку пати колку што има помошни аноди, се додека така зголемениот број на електрони не падне на главната анода . Напонот на помошните аноди е каскаден, така што секоја наредна анода е на повисок повисок потенцијал во однос на претходната.

Највисок потенцијал има главната анода. Кај современите фотомултипликатори има 8-14 помошни аноди , а анодната струја се зголемува и до  $10^6$  пати.

**Фотодиода** е вид на фотодетектор оспособен да ја конвертира светлината во електричен импулс (постојан и променлив) прилагодлив на потребите. Фотодиодите се слични на обичните полупроведливи диоди. Разликата е во тоа што овие можат да детектираат и ултравиолетови и X-зраци. Со оптичка фибро конекција стануваат уште почувствителни како дел од апаратури.



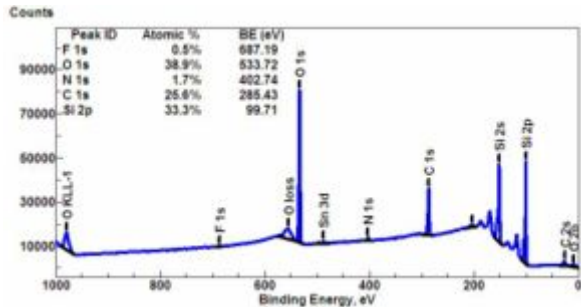
Во поранешните видеокамери (до пред 1990 г.) се користеле катодни цевки кои работеле на принципот на фотоефект. **Катодна цевка** е вакуумска цевка која работи користејќи фокусиран сноп од електрони. Денес на тој начин функционираат мониторите на телевизорите и компјутерите (CRT), Некогаш овие цевки се нарекуваат и киноскопи. Всушност, киноскоп е еден вид на едноставна катодна цевка која најчесто се користи кај осцилоскопи, радари и некои камери.

**Фотоелектрична спектроскопија на X-зраци (XPS)** е квантитативна спектроскопска техника со која се вршат мерења на елементарна содржина, хемискиот и електронски состав, т.е емпириската формула на елементите кои егзистираат во набљудуваниот материјал. XPS спектарот е добиен со ирадијација на материјал преку употреба на сноп од X-зраци од магнезиум или алуминиум, додека едновременно се мерат кинетичката енергија и бројот на избиените електрони низ разни дебелини на апсорберскиот слој, во вакуумски услови.

Оваа техника се користи и за анализа на одредена површина при подолг процес од разна природа (фрактурирање, гребење, изложување на хемиски реакции, промени на студ и топлина, јонизација, изложување на UV светлина).

XPS се користи за анализа и откривање на неоргански соединенија, метални легури, полупроводници, полимери, елементи и нивни својства. За проучување на керамика, бои, дрво, мастила, шминка, заби, коски, медицински импланти и био-материјали, вискозни масла, за добивање на модифицирани материјали.

Спектроскопска лика добиена во истражување на спектарот на сите елементи.



XPS е спектроскопска техника која може да се користи со монохроматска и полихроматска светлина и со разни снопови (по интензитет и елемент).

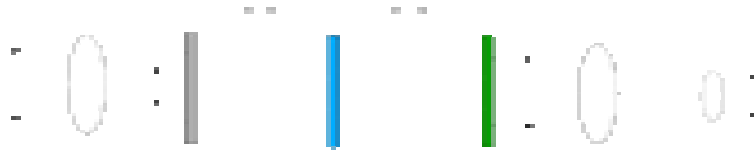
Затоа што енергијата на одредена бранова должина од X-зракот е позната, можеме да ја одредиме и енергијата на врзување на секој од емитираните електрони со употреба на равенството на Радерфорд, од 1914г.:

$$E_{\text{binding}} = E_{\text{photon}} - E_{\text{kinetic.energy}} - \Phi$$

каде што  $E_{\text{binding}}$  е енергија на електронот емитиран од внатрешната на еден атом,  $E_{\text{photon}}$  е енергија на употребениот X-зрак,  $E_{\text{kinetic}}$  одговара на измерената енергија на електронот од инструментот, и  $\Phi$  е работната функција на спектрометарот.

**Night vision device** е оптички инструмент кој дозволува гледање на јасни слики дури и кога е тотална темнина. Најмногу е употребуван од страна на воените армии и полиција, но се пристапни и до цивили. Тој вклучува во себе многу помагала меѓу кои инфрацрвени илуминатори и телескопски леќи.

Изглед на внатрешноста на NVD:



NVD работи во инфрацрвената област на бранова должина околу еден микро метар. Слично како термалните системи кои функционираат во комплетна темнина со детектирање на топлотно зрачење со бранови должини околу три микрометри, што значи во инфрацрвената област, NVD можат да детектират на природна многу слаба светлина, која обично доаѓа од Месечината и ѕвездите. Таа светлина се рефлектира од објектите и дозволува тие да бидат видени.

NVD содржи интензивирачка цевка која употребува фотоелектричен ефект да регистрира многу слаба светлина. Секој фотон од дојдената светлина удира во детекторна површина во внатрешноста на NVD од каде што се избиваат по неколку електрони. Овој сноп од електрони се забрзува од силно електрично поле кон фосфорен екран, кој пак емитура светлина токму во судирните точки на електроните со екранот. На екранот се формира светла и јасна слика и покрај тоа што набљудувањето е во темница.

Повеќето вакви направи не даваат информација за боите, туку сликата е монохроматска како резултат на фосфорниот екран. Најчесто користен е зелениот фосфор (P22), најмногу затоа што човековото око е најосетливо на оваа боја од спектарот



Во природата фотоелектричниот ефект се среќава во многу примери.

Уште во 1956 година кога астронаутите за првпат стагнале на тлото на Месечината забележале чудни однесувања на нејзината површина. Правта не лежела на површината како што е тоа "правило" на Земјата, тука се движела наоколу како да сред електро-магнетно поле.



Некои од астронаутите објаснуваат:

Материјалот од кој е составена површината на Месечината е еден од најнезамисливите електрични спроводници кои што причинуваат правта да е крената "да лебди" над неа, како множество од честички кои одржуваат постојан полнеж. Сите тие честички си заемодејствуваат и подлегнуваат под влијание на електростатско поле кое дејствува низ целата внатрешност на круг (Месечината) со дијаметар од илјадници километри, одбивајќи се, а како резултат на тоа се набљудува "лебдечка прашина" која во зависност од местоположбата може да се најде на висина 60-80cm.

Сето ова било несфатливо и тешко за верување, додека во 1960год., непосредно пред Apollo 11, со помош на " Surveyor spacecraft" кој бил приземјен на Месечината донел фотографии кои го покажувале сјајот на лунарниот хоризонт по заоѓањето на Сонцето. Уште повеќе, сликата не покажувала јасна оддалеченост помеѓу површината и небото како што тоа би се очекувало во вакуум (безвоздушен простор). Тоа биле потребните докази за потврда на теоријата дека на Месечината владее силно електростатско поле и дека Таа всушност претставува огромен спроводник, а резултатот на тоа е лебдењето на ситните предмети кои и на огромни растојанија си дејствуваат одбивно.

Тоа електростатско поле настанува како резултат на фотоефектот, појава која во тој период веќе била добро разбрана и објасната. Поконкретното објаснување на целата оваа појава е дека под дејство на светлината која доаѓа од Сонцето, на површината на Месечината се избиваат електрони кои претставуваат фотоструја. Понатаму важат познатите законитости на фотоефектот.



## **КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА:**

- “Атомска и нуклеарна физика”-проф.д-р. Невенка Андоновска
- “Нуклеарна физика”-проф.д-р Доне Гершановски,Смиља Конеска
- учебник “Физика за III година”-Мимоза Ристова, Мирјана Јоновска
- <http://scienceworld.wolfram.com/physics/PhotoelectricEffect.html>
- <http://en.wikipedia.org>
- **[NASA - Lunar Dust Buster](#)**
- <http://www.launc.tased.edu.au/online/sciences/physics/photo-elec.html>
- <http://www.firstscience.com/site/articles/moonfountains.asp>