

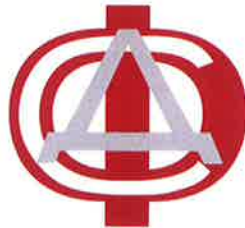
ISSN 2406-2626

Број 1
НАСТАВА ФИЗИКЕ



**XXXIII Републички семинар о настави физике
Зборник предавања, програма радионица,
усмених излагања, постер радова и прилога**

Златибор 2015.



M.K.

Милош

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



Часопис Настава физике је публикација Друштва физичара Србије. У часопису се публикују радови из методике наставе физике, историје и филозофије физике и прикази дисертација, монографских и уџбеничких публикација из области наставе физике. Намењен је наставницима физике основних и средњих школа, наставницима физике високих школа струковних студија, као и наставницима факултета који се баве истраживањима у области наставе физике.

ЗЛАТИБОР – 2015

Стручни одбор семинара/гостујуће уредништво:

1. Љубиша Нешић, Ниш
2. Душанка Обадовић, Сомбор
3. Мирјана Поповић-Божич, Београд
4. Андријана Жекић, Београд
5. Стеван Јокић, Винча, Београд
6. Милутин Степић, Београд
7. Маја Стојановић, Нови Сад
8. Вера Бојовић, Београд
9. Марија Крнета Београд
10. Милан Ковачевић, Крагујевац
11. Саша Ивковић Београд
12. Слађана Николић, Београд
13. Татјана Марковић-Топаловић, Шабац
14. Предраг Савић, Краљево

Организациони одбор семинара:

1. Саша Ивковић
2. Братислав Обрадовић
3. Иринељ Тапалага
4. Јелена Марковић
5. Ивана Ранчић
6. Бранка Радуловић
7. Иван Крстић
8. Нора Тркља

Уредник:

Љубиша Нешић

Технички уредник:

Иринељ Тапалага

Наслов:

„Настава физике“

Поднаслов:

„Зборник радова са Републичког семинара о настави физике“

Издавач:

Друштво физичара Србије, Београд

Штампаруја:

СЗР „Tampon-dizajn“, Панчево

ISSN: 2406-2626

Тираж: 300

СР - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

53

НАСТАВА физике : зборник радова са
Републичког семинара о настави физике
/ уредник Љубиша Нешић. - 2015, бр. 1- . - Београд :
Друштво физичара
Србије, 2015- (Панчево : Tampon-dizajn). - 25 cm

Два пута годишње
ISSN 2406-2626 = Настава физике
COBISS SR-ID 214910476

Фотоелектрични и фотоелектромагнетни ефекат

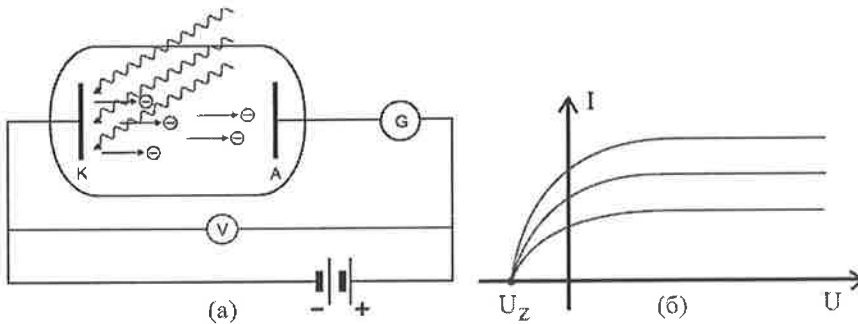
Д. Карајовић, К. Ђорђевић, А. Марковић, С. Арнаут, А. Жлибар,
С. Ковачевић, В. Спасојевић и М. С. Ковачевић¹

Прва крагујевачка гимназија, Крагујевац
¹Природно-математички факултет, ИФ, Крагујевац

Апстракт. У овом раду су сажето описана два значајна светлосна ефекта: фотоелектрични и фотоелектромагнетни, и то са теоријске и експерименталне тачке гледишта. Испитивање фотоэффекта довело је до фундаменталног сазнања о кванту светлости (фотону). Открићем фотоелектромагнетног ефекта дошло се до ефикасног истраживања такозване фотопроводности разних материјала. На крају, описана су два огледа за илустрацију фотоелектричног и фотоелектромагнетног ефеката.

Фотоелектрични ефекат

Крајем 19. века експериментално је установљено да светлост, из видљивог или ултраљубичастог подручја, падајући на металну површину, из површине метала избија електроне. Ови електрони се још називају и фотоелектрони а одговарајућа струја фотоструја.



СЛИКА 1. Шема огледа А. Г. Столетова (а); волт-амперска карактеристика (б).

Научник Столетов је у првим огледима осветљавао једну електроду у вакуумској цеви ултраљубичастом светлошћу (Слика 1(а)). Помоћу волтметра V мерена је разлика потенцијала $\phi_1 - \phi_2$ између електрода К и А. Галванометром G мери се јачина струје у колу. С обзиром да се електроде налазе у вакуумској цеви, електрична струја може да потиче једино услед кретања електрона који су настали избијањем из електроде К након што је она осветљена. Ова појава се назива фотоэффект. Кинетичка енергија избијених електрона не зависи од интензитета светлости, већ зависи само од фреквенције и то на врло једноставан начин: она линеарно расте с фреквенцијом. Алберт Ајнштајн је 1905. године предложио објашњење ове појаве. Он је утврдио да се енергија светлости састоји из кваната

светлости чија је енергија $\varepsilon = h\nu$, где је ν фреквенција. Само квант светлости може бити потпуно предат електрону. Другим речима, светлост се апсорбује у истим квантима $h\nu$, у којима се према Планковој претпоставци она и емитује. Према Ајнштајновој теорији, закон фотоефекта има следећи облик:

$$h\nu = E_k + W + E_{\text{jon}} \quad (1)$$

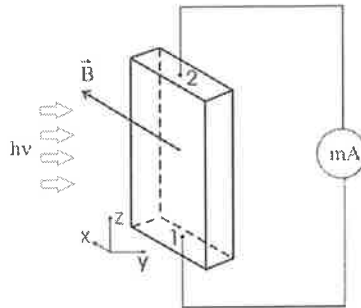
где је $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js Планкова константа. Величина W , која се назива излазни рад, сама по себи је константна карактеристика датог метала. Енергија јонизације атома E_{jon} за метале, код којих постоје слободни електрони, једнака је нули. Број фотоелектрона је сразмеран броју светлосних кваната, тј. интензитету упадне светлости. Миликен је на низом врло пажљивих експеримената установио потпуно слагање са Ајнштајновом једначином (1).

Зависност фотострује од напона између електрода, $I = I(U)$, назива се волт-амперска карактеристика (Слика 1(б)). Мењањем напона између електрода К и А, показало се да струја остаје стална у доста широком домену разлике потенцијала између електрода. Када разлика потенцијала достигне довољно велику вредност, фотоструја достигне засићење. Струја засићења I_s је управо сразмерна флуксу упадне светлости. Дакле, $I_s = en$, где је n број електрона избијених у јединици времена. Друга важна особина фотоелектричног ефекта јесте енергија избијених електрона из металне површине. Запажа се да електрична струја не ишчезава ни при нултом напону међу електродама. Ово показује да при нултом напону, изван број фотоелектрона емитованих са катоде, има довољно кинетичке енергије да би доспео до аноде. Променом поларитета напона на електродама, применом тзв. заочног електричног поља, струја се нагло смањује до нуле. Дакле, постоји одређена вредност напона таква да у потпуности зауставља све фотоелектроне (зауставни или заочни напон U_z). На тај начин се максимална брзина фотоелектрона v_m , у описаном експерименту, одређује из релације $m_e v_m^2 / 2 = eU_z$. Мерењем зауставног напона може се одредити максимална брзина фотоелектрона. Такође, из једначине (1), за брзину фотоелектрона, при $E_{\text{jon}} = 0$, лако добијамо $v = \sqrt{2(h\nu - W) / m_e}$. Одавде видимо да брзина фотоелектрона зависи од фреквенције упадне светлости, али не и од њеног интензитета. Минимална фреквенција светлости која може да изазове фотоефекат назива се црвена граница фотоефекта, и она износи $\nu_0 = W / h$.

Фотоелектромагнетни ефекат

Ако се правоугаона плоча од полупроводника постави у магнетно поље и осветли (Слика 2), између страна 1 и 2 појавиће се потенцијална разлика. Ова потенцијална разлика названа је фотоелектромагнетна електромоторна сила. Ако се ове две стране повежу у коло, почиње да тече струја. Ако се осветли плоча без магнетног поља ЕМС се не појављује. Када светлост падне на полупроводник, она се апсорбује у танком површинском слоју. Уколико је енергија фотона довољно велика, електрони који су примили ову енергију одвајају се од њихових атома, постају слободни и крећу се унутар полупроводника. Осветљавањем број слободних електрона у полупроводнику расте и њихова концентрација је највећа у танком

површинском слоју. Концентрација слободних електрона зависи од таласне дужине светлости, снаге упадне светлости и врсте полупроводника. Пошто је концентрација електрона близу површине већа него унутар полупроводника, долази до дифузије електрона од места веће концентрације ка месту мање концентрације. Ово кретање електрона са површине полупроводника ка унутрашњости представља дифузну електричну струју. Лоренцова сила делује на електроне који се крећу у магнетном пољу. Усмерени магнетном индукцијом и упадном светлошћу, електрони се крећу од стране 1 ка страни 2 (Слика 2). Резултат тога је да се између наспрамних страна полупроводника јавља потенцијална разлика. Ако се ове две стране повежу, у колу тече струја. Електрична струја тече онолико дуго колико је узорак полупроводника осветљен.



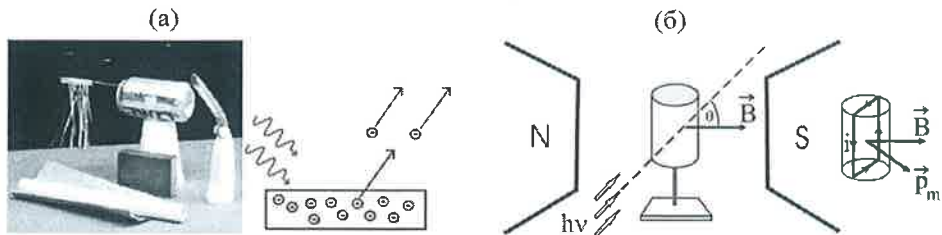
СЛИКА 2. Шема експеримента: магнетно поље је у правцу x -осе, осветљавање је у правцу y -осе, потенцијална разлика се јавља у правцу z -осе.

Формула за јачину струје за фотоелектромагнетни ефекат у затвореном колу је $I = keNB$, где је N број апсорбованих фотона по јединици површине у јединици времена, B је јачина магнетне индукције, e наелектрисање електрона, k је константа која карактерише врсту материјала. Под уобичајеним експерименталним условима, у слабом магнетном пољу од око 1 T и природна дневна светлост ($N \approx 10^{21}$ фотона / m^2s) производи фотомagnetну струју од око 10^{-3} A у узорку од кристала германијума ширине 0,01 m у правцу магнетног поља.

Демонстрациони експерименти

ОГЛЕД 1: Појава фотоелектричног ефекта може се демонстрирати помоћу једноставне апаратуре приказане на Слици 3(а). Потребан прибор је: празна лименка, пластична чаша, електростатичка перјаница, ебонитна шипка, крзно, УВ лампа, комад стакла и лепљива трака. Најпре се постави лименка хоризонтално са перјаницом као на слици. Ово се такође може користити као модел електроскопа. Наелектрисаном ебонитном шипком се додирне жица за коју су залепљени листићи перјанице. Негативно наелектрисање са шипке се пренесе на перјаницу, при чему се листићи размакну (подижу). На тај начин се илуструје да су листићи перјанице наелектрисани. Ако наелектрисану лименку осветлимо помоћу УВ лампе, листићи перјанице се полако спуштају, што значи да одређени број електрона напушта површину метала (лименке). Ово указује на то да је енергија УВ светлости довољна да изазове фотоелектат код алуминијума. Поново наелектришимо лименку помоћу

ебонитне шипке. Пре осветљавања лименке, између лампе и лименке поставимо стакло. Ако укључимо лампу и осветлимо лименку кроз стакло, видећемо да се ништа не дешава. Светлост се апсорбује у стаклу. Ако уклонимо стакло, поново се уочава појава фотоэффекта. Исти експеримент можемо поновити тако што лименку најпре наелектришемо позитивно. Листићи перјанице ће се такође размакнути. Ако лименку поново осветлимо са УВ лампом, ништа се не дешава. Ово потврђује чињеницу да је фотоэффект појава избијања електрона са површине метала, након чега лименка и даље остаје позитивно наелектрисана.



СЛИКА 3. Шема демонстрационог експеримента за фотоелектрични ефекат (а); шема демонстрационог експеримента за фотоелектромагнетни ефекат (б).

ОГЛЕД 2: За илустрацију фотоелектромагнетног ефекта може се искористити експеримент приказан на Слици 3(б). Мали цилиндар од полупроводника (германијум) постављен је на иглу и налази се између полова магнета. Када се цилиндар осветли под углом приближно 45° у односу на правац магнетног поља, он почиње да се врти. На тај начин се демонстрира директна конверзија светлосне енергије у механичку. Шта се дешава? Светлост пада на предњу страну цилиндра и осветљава уску траку дуж целе дужине цилиндра. При томе се произведу слободни електрони и шупљине који дифундују са осветљене површине ка унутрашњости цилиндра. Електрони и шупљине су „ухваћени” Лоренцовом силом и појављује се ЕМС. Остали део цилиндра је пасиван и делује као проводник, затварајући коло за ЕМС насталу фотоелектромагнетним ефектом. Ако цилиндар замислимо као бесконачан број затворених контура, на сваку ову контуру делује магнетно поље. Максимални момент је пропорционалан површини контуре и струје у њој. Како је цилиндар симетричан, све ове контуре се могу заменити једном еквивалентном контуром чија је раван одређена упадном светлошћу. Ако је угао између равни контуре и вектора магнетне индукције различит од 90° ова контура ће ротирати у магнетном пољу. Како се цилиндар врти нове површине цилиндра бивају осветљене, и тако цилиндар наставља да се врти све док је осветљен и док имамо магнетно поље.

Литература

1. С. Е. Фриш, А. В. Тиморијева, *Курс опште физике, том 3, Оптика и атомска физика*, (Завод за уџбенике, Београд, 1970).
2. И. Аутм Д., Генцов, К. Герман, *Фотоелектричне појаве*, (Мир, Москва, 1980).
3. Kovacevic M., Djordjevich A., A mechanical analogy for the photoelectric effect, *Physics Education* **41** (6), 551-555, (2006).