



ЗА МЕХАНИКАТА НА ЗАРЕДЕНА МАТЕРИАЛНА ТОЧКА (ЕЛЕКТРОН), ВЪНШНИЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧЕН ЕФЕКТ И ЕФЕКТА НА КОМПТОН

Димитър Германов

dimitar_germanov@yahoo.com

ВТУ "Т. Каблешков", София-1574, бул. "Гео Милев" 158
БЪЛГАРИЯ

Резюме: Установените закони на външния фотоелектричен ефект за сравнително не големи интензивности на светлината, свързват освобождаването на електрон от веществото с поглъщането на един фотон. В настоящата статия е показано, че в действителност както външният фотоелектричен ефект, така и ефектът на Комптон са многофотонни процеси, при които голяма част от енергията на погълнатите фотони отива за формиране на енергията на собственото електромагнитно поле на електрона.

Ключови думи: външен фотоелектричен ефект, ефект на Комптон.

ВЪВЕДЕНИЕ

Тази статия се явява като естествено продължение на статията „On the Special Theory of Relativity the Mechanics of a Radiating Charged Point Particle (Electron), and the Lamb Shift in the Hydrogen Atom” [1], в която е показано, че в специалната теория на относителността (СТО), електронът, който се ускорява в електромагнитно поле, не само че не излъчва, но не създава и собствено квазистационарно поле. В този смисъл, може да се каже, че в нея се разглежда „гол” електрон.

В същата статия е получена формула за енергията, която електронът получава от електромагнитното поле, когато те образуват затворена система. Тя включва както кинетичната енергия, така и енергията на собственото електромагнитно поле на електрона, от която безкрайната енергия на кулоновото поле и безкрайната част на енергията на квазистационарното магнитно поле са отстранени:

$$(1) \quad \xi_t = pc = E_k + T_d,$$

където p е големината на импулса на електрона, E_k е придобитата от него кинетична

енергия, а T_d е енергията на собственото му електромагнитно поле, която е равна на

$$(2) \quad T_d = mc^2 \left(\frac{\beta - 1 + \sqrt{1 - \beta^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right).$$

ВЪНШЕН ФОТОЕЛЕКТРИЧЕН ЕФЕКТ И ЕФЕКТ НА КОМПТОН

При външния фотоелектричен ефект и при ефекта на Комптон освен кинетична енергия, в процеса на избиване от веществото, електронът придобива и собствено електромагнитно поле, на което отговаря определена енергия. В затворената система вещество - излъчване, съгласно закона за запазване на енергията (ЗЗЕ), тази енергия може да възникне само за сметка на еквивалентно количество енергия, която електронът получава от електромагнитното поле на излъчването.

ВЪНШЕН ФОТОЕЛЕКТРИЧЕН ЕФЕКТ

Нека върху метална пластинка да пада поток от светлина. Според постулата на Айнщайн един електрон може да погълне само един фотон с енергия $h\nu$ в еднократен акт.

Най - благоприятният случай за емисия на електрон е когато той се намира на повърхността на метала, движи се перпендикулярно на нея, кинетичната му енергия е равна на енергията на Ферми E_F и ускорението му става в същата посока. Кинетичната енергия на такъв електрон след излитането му от металната пластинка е максимална.

Уравнението на Айнщайн за външния фотоелектричен ефект в този случай е

$$(3) \quad h\nu = E_{k_{\max}} + A,$$

където $E_{k_{\max}}$ е максималната кинетична енергия на електрона, а A е отделителната работа на метала.

От тази формула следва, че електронът получава от светлинното електромагнитно поле енергия $h\nu$, която изцяло преминава в кинетична енергия, част от която отива за преодоляване на отделителната работа.

Уравнението (3) е в отлично съгласие с експерименталните резултати в широк честотен диапазон – от видимата светлина до твърдите γ - лъчи.

От друга страна в този процес, освен кинетична енергия, при ускоряването електронът придобива и собствено електромагнитно поле, както вълново така и квазистационарно, на което отговаря съответна енергия.

Вижда се, че е необходимо да се съгласува уравнението на Айнщайн с уравнение (1), което отчита енергията на собственото поле на електрона. Това е направено по-долу.

Електроните на проводимостта в металите не са свързани с определени атоми и в този смисъл те са свободни. Следователно тези електрони са много по-слабо свързани с решетката на метала, отколкото електроните, които са свързани с атомните ядра.

По този начин връзката на свободните и свързаните електрони с цялото тяло е различна. На практика, чрез тази връзка тялото приема част от енергията, която електронът поглъща.

Следователно, за енергията, която поглъща един фотоелектрон трябва да е в сила уравнение (1), към което трябва да бъде добавен и член, който да отчита енергията, която получава цялото тяло (металната пластинка) вследствие на връзката между електрона и металната решетка.

В този случай трябва да бъде изпълнено равенството

$$(4) \quad \eta_i = E_{k1} + T_{d1} + W.$$

Тук W е енергията, която се придава на цялото тяло, E_{k1} е кинетичната енергия, която придобива електронът, а T_{d1} е съответстващата му собствена електромагнитна енергия.

От формула (3) на Айнщайн, според която енергията на един фотон изцяло преминава в кинетична енергия на електрона, ще следва, че

$$(5) \quad E_{k1} = h\nu.$$

От формула (2) се получава, че за целия енергетичен диапазон на фотоните, за които се осъществява фотоелектричният ефект, собствената енергия на електрона е многократно по-голяма от кинетичната му енергия, т.е. $T_{d1} \gg E_{k1} = h\nu$. Това означава, че голямата част от погълнатата от електрона енергия отива за формиране на енергията на собственото му електромагнитно поле.

Тогава, в съгласие с фотонната теория и с казаното по-горе, следва да приемем, че електронът в еднократен акт поглъща N фотона.

Следва, че (4) може да се запише във вида:

$$(6) \quad Nh\nu = E_{k1} + T_{d1} + W.$$

Тогава от (5) и (6) получаваме равенството

$$(7) \quad T_{d1} + W = (N-1)h\nu.$$

Ако електронът се намира на определена дълбочина вътре в метала и там той получава енергията $Nh\nu$ и ако неговата начална кинетична енергия е по-малка от максималната енергия E_F , то част от кинетичната енергия E_{k1} ще допълни началната енергия с ΔE_F , до енергията на Ферми E_F . Освен това докато достигне до повърхността електронът ще загуби енергия ΔK в следствие на случайни удари. Тогава, при напускане на метала той ще има кинетична енергия

$$(8) \quad E_k = E_{k1} - (\Delta E_F + \Delta K + A),$$

на която отговаря енергията на собственото му поле T_d .

Като заместим в уравнение (6) кинетичната енергия E_{k1} , получена от (8), намираме

$$(9) \quad Nh\nu = E_k + \Delta E_F + \Delta K + A + T_{d1} + W.$$

Като вземем предвид (7) получаваме:

$$(10) \quad h\nu = E_k + \Delta E_F + \Delta K + A.$$

Ако електронът има максимална кинетична енергия E_F , което означава, че $\Delta E_F = 0$ и ако той е възбуден на повърхността на метала, т.е. $\Delta K = 0$, то от уравнение (10) ще получим

$$h\nu = E_{k_{\max}} + A,$$

което е уравнението (3).

ЕФЕКТ НА КОМПТОН

В зависимост от съотношението между енергията на фотоните и енергията на връзката на електрона W_s с цялото тяло, енергетически по-изгодно при тяхното взаимодействие може да се окаже разсейването на фотоните.

В разсейването на фотоните при ефекта на Комптон, участват „почти“ свързаните електрони, т.е. тези, които под действието на излъчването се отделят от атомите и напускат метала (веществото).

Тъй като собствената енергия на избития електрон е много по-голяма от кинетичната му енергия за широк честотен диапазон на фотоните, т.е. $T_d \gg E_k$, ще следва, че комптоновото разсейване е също многофотонен процес. Или законът за запазване на енергията за този случай ще е:

$$(11) \quad Nh\nu = E_k + T_d + W + h\nu'.$$

При това нека и тук да е в сила равенството (7):

$$T_d + W = (N-1)h\nu.$$

Тук $Nh\nu$ е енергията на участващите в процеса необходим брой фотони, E_k е кинетичната енергия на избития електрон, T_d е енергията на собственото му електромагнитно поле, която съответства на тази кинетична енергия, $h\nu'$ е енергията на разсеяния фотон, а W е енергията, придадена на тялото. Или, от (11) и (7), получаваме:

$$(12) \quad h\nu = E_k + h\nu'.$$

Както се знае, уравнение (12) се интерпретира като удар между електрон и фотон с

енергия $h\nu$ и импулс \vec{p}_ν . След удара електронът придобива кинетична енергия E_k и импулс \vec{p} , а разсеяният фотон има импулс $\vec{p}_{\nu'}$, който сключва ъгъл φ с \vec{p}_ν и енергия $h\nu'$.

От закона за запазване на импулса ще следва уравнението

$$(13) \quad \vec{p}_\nu = \vec{p} + \vec{p}_{\nu'}.$$

От съвместното решаване на уравнения (12) и (13) се получава формулата на Комптон за изменението на дължината на вълната при разсейването на фотона:

$$(14) \quad \lambda' - \lambda = \Delta\lambda = 2 \frac{h}{mc^2} \sin^2 \frac{\varphi}{2}.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Формулата на Айнщайн за външния фотоелектричен ефект и формулата на Комптон за изменението на дължината на вълната при разсейването на фотоните са изведени при предположението, че тези процеси са еднофотонни.

Отчитайки енергията на собственото поле на електрона, което се създава при неговото избиване от веществото, и в съгласие с фотонната теория, ние показваме, че външният фотоелектричен ефект и ефектът на Комптон са *многофотонни* процеси.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Germanov D. G., On the Special Theory of Relativity the Mechanics of a Radiating Charged Point Particle (Electron), and the Lamb Shift in the Hydrogen Atom, *Physics Essays*, 19, 4, pp. 638-649, Canada, 2006.

ON THE MECHANICS OF A CHARGED POINT PARTICLE (ELECTRON), PHOTOEMISSIVE EFFECT AND THE EFFECT OF COMPTON

Dimitar Germanov

dimitar_germanov@yahoo.com

VTU "Todor Kableshkov", Sofia 1574, 158, Geo Milev Blvd
BULGARIA

Key words: photoemissive effect, effect of Compton

Abstract: The established laws of the photoemissive effect about a considerably not great intensity of light, interpret the emission of an electron by matter with the absorption of only one photon. In the present paper it is shown that actually both the photoemissive effect and the effect of Compton are multiphoton processes, in which a great part of energy of absorbed photons is used for the formation of the energy of the own electromagnetic field of the electron.