

PACS: 35Q41

## PEŞLE-TELLER POTENSİALLI KVANT MƏFTİLDƏ ELEKTROMAQNİT ŞÜALANMASININ UDULMASI

**B.H.İBRAHİMOV**

*Azərbaycan MEA-nın Fizika İnstitutu  
AZ 1143, Bakı, H.Cavid pr., 131  
behbud.ibrahimov.93@mail.ru*

Daxil olub: 21.08.2020  
Çapa verilib: 28.09.2020

### REFERAT

Peşle-Teller potensiallı kvant məftildə elektromaqnit şüalanmasının udulma əmsalı üçün analitik ifadə alınmışdır. Udulma əmsalı birinci tərtib həyacanlaşma nəzəriyyəsi ilə hesablanmışdır. Işıqın xətti və sirkulyar polarizasiya hallarına baxılıb, udulmanın rezonans xarakter daşdığı müəyyən olunub.

Açar sözlər: Peşle-Teller potensialı, kvant məftil, elektromaqnit şüalanması, udulma əmsalı.

Aşağı ölçülü kvant sistemlərin (kvant çuxurlar, ifrat qəfəslər, kvant məfillər, kvant nöqtələr) optik və kinetik xassələri onların massiv materiallarının xassələrindən köklü fərqlənir. Bu sistemlər elektronika və optoelektronikada geniş tətbiq olunduğuna görə bir neçə on ildir ki, həm nəzəri, həm də eksperimental olaraq intensiv tədqiq olunurlar. Nanostrukturarda yükdaşıyıcıların enerji spektri ölçüyə görə kvantlanır və bu keçirici zonada ölçüyə görə kvantlanmış hallar arasında kecidlə əlaqədar spektrin uzaq ifratqırmızı sahəsinə uyğun zəif elektromaqnit dalğalarının udulmasını (buraxılmasını) təmin edir. Aşağı ölçülü yarımkeçirici strukturların optik və elektron xüsusiyyətləri müasir yarımkeçiricilərin fizikasının vacib hissəsidir. Nanostrukturaların optik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi həm infraqırmızı detektorların dizaynında, həm də kvant kaskadlı lazerlərin hazırlanmasında həlledici roluna görə həm nəzəri, həm də tətbiq olunma baxımından böyük maraq doğurur [1]

Yarımkeçirici nanostrukturalar yükdaşıyıcıların enerji spektrini idarə etməklə əvvəlcədən təyin olunmuş xüsusiyyətlərə malik cihaz yönümlü strukturlar yaratmaqda bənzərsizdir [2]. Bu heterofaz sistemlərinin əhəmiyyətli bir xüsusiyyəti də tədqiq olunan nümunələrin komponent tərkibi, həndəsi forması və ölçüləri, eləcə də onların fiziki xüsusiyyətləri arasında güclü əlaqələrin olmasıdır [3]. Nano quruluşlardakı proseslərin nəzəri təsvirində sistemin Hamiltonunun real qurma proseduru prinsipal əhəmiyyət kəsb edir. Bu halda tədqiq olunan nümunənin həndəsi forması Hamilton operatorunun simmetriyasını diktə edirsə, nanostrukturun komponent tərkibi, fiziki-kimyəvi, mexaniki və s. xüsusiyyətləri və ətraf mühit sistemin məhdudlaşdırıcı potensialının profilini formalaşdırır [3]. Aşağı ölçülü sistemlərdə müxtəlif məhdudlaşdırıcı potensiallar-düzbucaqlı, parabolik, üçbucaq və s. tipli potensiallar tətbiq olunur. Tənzimlənən qeyri simmetrik xüsusiyyəti sayəsində Peşle-Teller potensialının [4] maraqlı optik xüsusiyyətlər verəcəyi gözlənilir və bu səbəbdən bu tip potensiala bir çox tədqiqatçılar böyük maraq göstərirlər. Peşle-Teller potensialının müxtəlif növləri (Sec, Csc) kvadratı [5,6,7], Sech kvadratı [8-11], cot- kvadrat [12,13], tan-kvadratı [14-15] və Morse kvant çuxuru [16] şəklində olduğu məlumdur. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, Peşle-Teller potensialı optik cihazlarda [8] və ya rezonans tunel cihazlarında zəngin tətbiqetmələrə malikdir [9]. Peşle-Teller tipli məhdudlaşdırıcı potensiallı kvant çuxurlarda optik udulmalar geniş tədqiq olunmuşdur. Bu işdə Peşle-Teller tipli məhdudlaşdırıcı potensiallı kvant məfillərdə optik udulma öyrənilir.

X istiqamətində parabolik potensiallı, z istiqamətində Peşle-Teller tipli məhdudlaşdırıcı potensiallı kvant məftildə elektronun Hamiltonu

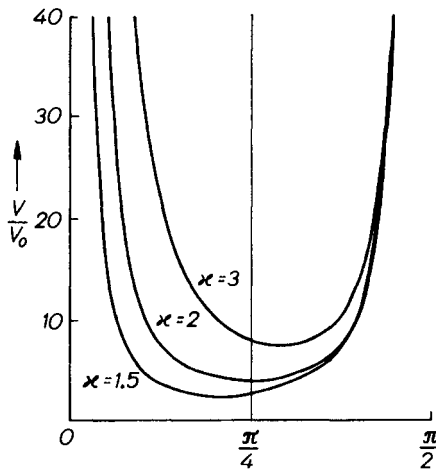
$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*} \left[ \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] + V(x) + V(z), \quad (1)$$

burada  $V(x)$  və  $V(z)$  aşağıdakı ifadələrlə verilir

$$V(x) = \frac{m^*}{2} (\omega^2 x^2), \quad (2)$$

$$V(z) = \frac{\hbar^2 \beta^2}{2m^*} \left[ \frac{\chi(\chi-1)}{\sin^2(\beta z)} + \frac{\eta(\eta-1)}{\cos^2(\beta z)} \right], \quad k, \eta > 1, \quad (3)$$

(3) [15] ifadəsindən görünür ki,  $z = 0$  və  $z = \frac{\pi}{2\beta}$  olduqda potensial sinqulyar olur.  $\chi$  və  $\eta$  kəmiyyətləri



potensialın asimmetrikliliyini təyin edir və  $\chi = \eta$  olduqda Peşle-Teller potensialı simmetrik olur.

$V(z)$  Peşle-Teller potensialının qrafik təsviri Şəkil 1-də verilmişdir [15].

Şəkil 1

$\eta = 2$  olduqda 3 müxtəlif Peşle-Teller potensialı verilmişdir [15].

(1) Hamiltonuna uyğun dalğa funksiyasını belə seçirlər

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{L_x}} \exp(ip_x x / \hbar) \varphi_N \left( \frac{y}{l} \right) \phi_n(z), \quad (4)$$

$\varphi_N \left( \frac{y}{l} \right)$ - ossilyator funksiyası,  $N = 0, 1, 2, \dots$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ ,  $L_x$  - məftilin uzunluğu,  $l = \sqrt{\hbar/m\omega}$ .

$\phi_n(z)$ - (1) Hamilton operatorunun  $H_z$  komponentinin məxsusi funksiyasıdır.

$$H_z \phi_n(z) = E_n \phi_n(z), \quad (5)$$

$\phi_n(z)$  məxsusi funksiya və  $E_n$  məxsusi qiymətinin ifadəsi [15]-də aşağıdakı şəkildə verilmişdir:

$$\phi_n(z) = C_n \sin^k(\beta z) \cos^\eta(\beta z) {}_2F_1[-n, k + \eta + n, k + 1/2; \sin^2(\beta z)], \quad (6)$$

$$E_n = \frac{\hbar^2 \beta^2}{2m^*} (k + \eta + 2n)^2 \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (7)$$

burada  $F(a, b, c, z)$  - hiperqoemetrik funksiyadır.

Altzonallararası udulma əmsalı aşağıdakı ifadə ilə hesablanır [17]

$$\alpha = \frac{2\pi\sqrt{e}}{c\hbar N_f} \sum_{N,n,p_x} \sum_{N',n',p'_x} f_0(E_{n_1,n_2,p_z}) \times \left| \langle N,n,p_x | H_R | N',n',p'_x \rangle \right|^2 \delta(E_{N,n,p_x} - E_{N',n',p'_x} + \hbar\omega) \quad (8)$$

Udulma əmsalı xətti polarizasiya və sirkulyar polarizasiya halında baxılıb.

Polyarizasiya vektoru Oy oxu üzrə yönəlsə, elektron-foton qarşılıqlı təsir operatoru aşağıdakı şəkildə olar

$$H_R = -\frac{ie\hbar}{m^*} \sqrt{\frac{2\pi\hbar N_f}{\varepsilon\omega}} \frac{\partial}{\partial y}, \quad (9)$$

burada  $N_f$  fotonların sayıdır.

(4)-ü (9)-da nəzərə alanda  $H_R$  -in matris elementi aşağıdakı kimi olar:

$$\langle N,n,p_x | H_R | N',n',p'_x \rangle = -\frac{ie\hbar}{ml} \sqrt{\frac{2\pi\hbar N_f}{\varepsilon\omega}} \delta_{p_x,p'_x} \delta_{m,m'} \times \left( \sqrt{\frac{N+1}{2}} \delta_{N,N'-1} - \sqrt{\frac{n_2}{2}} \delta_{N,N'+1} \right). \quad (10)$$

Sirkulyar polarizasiya halında  $H_R$  -ifadəsi aşağıdakı kimidir [18]

$$H_R = -\frac{e\hbar}{m^*} \sqrt{\frac{2\pi\hbar N_f}{\varepsilon\omega}} \left( i \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \right). \quad (11)$$

Sirkulyar polarizasiya halında  $H_R$  -ifadəsini hesabladıqda aşağıdakı ifadədən istifadə edilir [19].

$$\frac{d}{dx} F(a,b;c;x) = \frac{ab}{c} F(a+1,b+1;c+1;x). \quad (12)$$

Udulma əmsalını hesabladıqda  $\delta(x)$  Dirak funksiyası Lorens genişlənməsi ilə əvəz edilib

$$\delta(x) = \frac{(\pi\tau)^{-1}}{\tau^{-2} + x^2}. \quad (13)$$

(10)- (13)-ü (8)-də nəzərə almaqla asanlıqla udulma əmsalı üçün ifadələr alınır. (10)-(13)-dən görünür ki, xətti polarizasiya halında yalnız ya parabolik potensiala görə kvantlanmış qonşu səviyyələr arasında, ya da Peşle-Teller potensialına görə kvantlanmış qonşu səviyyələr arasında rezonans udulma olur. Sirkulyar polarizasiya halında isə həm parabolik potensiala görə kvantlanmış qonşu səviyyələr arasında, həm də Peşle-Teller potensialına görə kvantlanmış qonşu səviyyələr arasında rezonans udulma olur.

1. T.Numai. *Fundamentals of Semiconductor Lasers*, Springer, New York, (2004).
2. Ж.И.Алферов. *История и будущее полупроводниковых гетероструктур. Физика и техника полупроводников*, 1 (1998) 3-18.
3. D.Bimberg, M.Grundman, N.Ledentsov. *Quantum Dot Heterostructures*. Wiley, New York, (1999).

4. G.Pösch, E.Teller, Z.Bemerkungen. *Quantenmechanik des anharmonischen Oszillators*, *Phys.*, **83** (1933) 143.
5. H.Yildirim, M.Tomak. *Phonon-assisted cyclotron resonance in Pöschl-Teller quantum well*, *J. Appl. Phys.*, **99** (2018) 093103.
6. H.Yildirim, M.Tomak. *Nonlinear optical properties of a Pöschl-Teller quantum well*, *Phys. Rev. B*, **72** (2005) 115340.
7. H.Yildirim, M.Tomak. *Intensity-dependent refractive index of a Pöschl-Teller quantum well*, *J. Appl. Phys.*, **99** (2006) 093103, doi: 10.1063/1.2194124.
8. Lucas Carvalho Pereira, Valter Aragão do Nascimento. *Dynamics of Bose-Einstein Condensates Subject to the Pöschl-Teller Potential through Numerical and Variational Solutions of the Gross-Pitaevskii Equation*. *Materials*, **13** (2020) 2236; doi:10.3390/ma13102236.
9. B.Y.Tong, N.Kiriushcheva. *Band-gap engineering of a Sech-squared potential in heterojunctions*, *Phys. Lett. A*, **229** (1997) 49-52.
10. S.H.Dong, R.Lemus, *Int. J. Ladder operators for the modified Pöschl-Teller potential*, *Quantum Chem.*, **86** (2002) 265-272.
11. Kh.D.Pharm, Le Dinh, Ch.V.Nguyen, Nguyen N.Hieu, Pham T.Vinh, Le Thi Ngoc Tu, Huynh V. Phuc. *One - and two photon induced cyclotron-phonon resonance in modified Poschl-Teller quantum well*, *Applied Physics A*, **125** (2019)166.
12. I.I.Goldman, V.D.Krivchenkov, V.I.Kogan, V.M.Galitskii, *Problems in Quantum Mechanics*, Inforsearch, London, (1960) 396.
13. K.D.Pharm, N.N.Hieu, L.T.T.Phuong, B.D.Hoi, C.V.Nguyen, H.V.Phuc. *Phonon assisted cyclotron resonance in special symmetric quantum wells*, *Appl. Phys. A*, **124** (2018) 656.
14. P.T.T.Le, Pham T.Vinh, Le T.N.Tu, Huynh V. Phuc Chuong V. Nguyen, Nguyen N.Hieu, Le T.Hoa. *Magneto-optical absorption in Poschl-Teller-like quantum well*, *Physica B*, **592** (2020) 412279.
15. S.Flugge. *Practical Quantum Mechanics*, Springer-Verlag, Berlin, **XV** (1994) 620.
16. F.Ungan, S.Pal, M.K.Bahar, M.E.Mora-Ramos. *Nonlinear optical properties of Morse quantum well modulated by THz laser fields* *Physica E*, **113** (2019) 86-91.
17. В.В.Карпунин, В.А.Маргулис. *Поглощение электромагнитного излучения в квантовой проволоке с анизотропным параболическим потенциалом в поперечном магнитном поле. Физика и техника полупроводников*, **50** (2016) 785-790.
18. V.V.Karpunin, V.A.Margulis. *The absorbtion of electromagnetic radiation in a quantum wire. Nanosystems: Pyhiscs, Chemistry, Mathematics*, **5** (2014) 378-383.
19. M.Abramowitz, I.A.Stegun. *Handbook of mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables*, Natl. Bur. Stand. Appl. Math. Series, US GPO, Washington, DC, **55** (1964) 1026.

#### ABSORPTION OF THE ELECTROMAGNETIC RADIATION IN QUANTUM WIRE WITH A PÖSCHL-TELLER POTENTIAL

B.G.IBRAGIMOV

The analytical expression for the absorption coefficient of the electromagnetic radiation by electrons of a quantum wire with a Pöschl-Teller potential has been obtained. The absorption coefficient has been calculated in the first order of the perturbation theory

The case of linearly and circularly polarized light has been considered. The resonance character of the absorption has been shown.

#### ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КВАНТОВОЙ ПРОВОЛОКЕ С ПОТЕНЦИАЛОМ ПЕШЛЕ -ТЕЛЛЕРА

Б.Г.ИБРАГИМОВ

Получено аналитическое выражение для коэффициента поглощения электромагнитного излучения электронами квантовой проволоки с Пешле -Теллер потенциалом. Коэффициент поглощения вычислен в первом порядке теории возмущений.

Рассмотрен случай линейно и циркулярно-поляризованного света. Показан резонансный характер поглощения.