

XARİCİ MAQNİT SAHƏSİNDƏ PARABOLİK KVANT ÇUXURUNDA ZONALARARASI OPTİK KEÇİDLƏR

Abbasova X.N., Qədirova İ.R.

Bakı Dövlət Universitet

xeyale200600@icloud.com

Kvant çuxuru müstəvisinə parallel sabit maqnit sahəsində $\mathbf{H}=\mathbf{H}(H,0,0)$ yerləşən parabolik potensiallı

$$U = \frac{1}{2}m\omega_0^2 z^2 \quad (1)$$

kvant çuxuruna malik yarımkeçirici strukturlarda elektronun dalğa funksiyasını

$$\Psi_{n_i,k}(\mathbf{r}) = u_i(\mathbf{r}) \psi_{n_i,k}(\mathbf{r}) \quad (2)$$

şəklində yazmaq olar. Burada $u_i(\mathbf{r})$ - Blox vuruğu,

$$\psi_{n_i, \mathbf{k}}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\sqrt{S}} e^{i\mathbf{k}\mathbf{r}} \varphi_{n_i}(z) \quad (3)$$

qurşayan funksiya, i - keçiricilik ($i=c$) və valent ($i=v$) zonasına aid olan halları, n_i isə altzonaları işarə edən indekslər, $\mathbf{r}(\mathbf{r}, z)$ - elektronun radius-vektoru, $\mathbf{r}(x, y)$ və $\mathbf{k}(k_x, k_y)$ - elektronun sahəsi S olan kvant çuxuru müstəvisindəki ikiölçülü radius-vektoru və dalğa vektoru,

$$\varphi_{n_i}(z) = \frac{1}{\sqrt{2n_i!} \cdot \sqrt[4]{\pi a_i^2}} \exp\left(-\frac{(z-z_{0i})^2}{2a_i^2}\right) H_{n_i}\left(\frac{z-z_{0i}}{a_i}\right), \quad (4)$$

burada $a_i = \sqrt{\frac{\hbar}{m_i \Omega_i}}$, $\Omega_i^2 = \omega_{0i}^2 + \omega_{ci}^2$, $\omega_{ci} = \frac{eH}{m_i c}$, $z_{0i} = -\frac{\omega_{ci} \hbar k_y}{m_i \Omega_i^2}$, m_i - elektronun effektiv kütləsi, $n=0, 1, 2, \dots$, H_n - Ermit polinomudur.

Elektronun keçiricilik və valent zonasında tam enerjisi aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$E_{n_c}(k) = \frac{\hbar^2 k_x^2}{2m_c} + \frac{\hbar^2 \omega_{0c}^2 k_y^2}{2m_c \Omega_c^2} + \hbar \Omega_c \left(n_c + \frac{1}{2}\right), \quad (5)$$

$$E_{n_v}(k) = -E_g - \frac{\hbar^2 k_x^2}{2m_v} - \frac{\hbar^2 \omega_{0v}^2 k_y^2}{2m_v \Omega_v^2} - \hbar \Omega_v \left(n_v + \frac{1}{2}\right), \quad (6)$$

burada E_g - yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zolağının enidir.

Kvant keçidləri nəzəriyyəsinə görə optik keçidlərin ehtimalını

$$W(\omega) = \frac{2\pi}{\hbar} \sum_{if} |H_{fi}|^2 \delta(E_f - E_i - \hbar\omega), \quad (7)$$

kimi yazmaq olar. Burada $H_{fi} = \frac{eA_0}{mc} (\xi P_{if}) - \hat{H} = \frac{eA}{mc} \hat{p}$ həyəcanlanma operatorunun (2) dalğa funksiyaları ilə hesablanan matris elementi, m - sərbəst elektronun kütləsi, $A = A_0 \xi$ - elektromaqnit dalğasının vektor-potensialı, ξ - vahid polyarlaşma vektoru, $A_0 = \frac{\sqrt{2\pi N \hbar \omega}}{v}$, $v = \frac{c}{n}$ - faza sürəti, n - işığın sınma əmsalı, $\hat{p}$ - impuls operatoru, N - vahid həcmdə fotonların sayıdır. Elektronların $i(n_v, k)$ başlanğıc haldan $f(n_c, k')$ son hala zonalararası optik keçidlərində impuls operatorunun matris elementləri üçün $(\xi P_{if}) = (\xi P_{cv}) \delta_{kk'} I_{n_c n_v}$ olduğunu nəzərə alsaq sadə ikizonalı model üçün (8) keçid ehtimalını aşağıdakı kimi yazı bilərik:

$$W(\omega) = \frac{4\pi^2 e^2 N}{n^2 \omega m^2} \sum_{n_c n_v} \sum_{kk'} (\xi P_{cv})^2 \delta_{kk'} I_{n_c n_v} \delta(E_{n_c}(k') - E_{n_v}(k) - \hbar\omega), \quad (8)$$

burada $P_{cv} = \frac{1}{\Omega} \int u_c^*(r) \hat{p} u_v(r) dr$ və $I_{n_c n_v} = \int \varphi_{n_c}^*(z) \varphi_{n_v}(z) dz$. (8)-ci ifadədə $\delta_{kk'}$ vasitəsilə dalğa vektoruna görə cəmləsək, sonra isə δ - funksiya vasitəsilə integrallasaq, alırıq:

$$W(\omega) = \frac{4\pi e^2 N \sqrt{m^* M}}{\hbar^2 n^2 \omega m^2} (\xi P_{cv})^2 \sum_{n_c n_v} |I_{n_c n_v}|^2 \cdot \Theta\left(\hbar\omega - \hbar\Omega_c \left(n_c + \frac{1}{2}\right) - \hbar\Omega_v \left(n_v + \frac{1}{2}\right) - E_g\right). \quad (9)$$

Burada $m^* = \frac{m_c m_v}{m_c + m_v}$, $\frac{1}{M} = \frac{\omega_{0c}^2}{m_c \Omega_c^2} + \frac{\omega_{0v}^2}{m_v \Omega_v^2}$, $\Theta(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$ - pilləvari funksiyadır.

İşığın udulma əmsalının $\alpha(\omega) = nW(\omega)/Nc$ ifadəsində (9)-u yerinə yazsaq alarıq:

$$\alpha(\omega) = \frac{4\pi e^2 S \sqrt{m^* M}}{\hbar^2 c n \omega m^2} (\xi P_{cv})^2 \sum_{n_c n_v} |I_{n_c n_v}|^2 \cdot \Theta \left(\begin{array}{c} \hbar\omega - \hbar\Omega_c \left(n_c + \frac{1}{2} \right) - \\ - \hbar\Omega_v \left(n_v + \frac{1}{2} \right) - E_g \end{array} \right). \quad (10)$$

(9) və (10) ifadələrindən görünür ki, kvant çuxuru müstəvisinə paralel maqnit sahəsində yerləşən parabolik kvant çuxurunda zonalararası optik keçidlərin ehtimalı və işığın udulma əmsalı tezliyin pilləvari funksiyasıdır. Maqnit sahəsinin intensivliyinin artması ilə ixtiyari iki altzona arasındakı keçidlər üçün keçid ehtimalının və udulma əmsalının qiyməti artır, zonalararası udulma astanası isə yüksək tezliklər oblastına sürüşür.