

PACS 68.65

SFERİK KVANT NÖQTƏSİNDƏ OPTİK KEÇİDLƏR VƏ LAZER EFFEKTİ

T.H.İSMAYILOV, A.F.ASLANLI
Bakı Dövlət Universiteti
ms.fq@bk.ru, tariyel.i@gmail.com

Bu işdə parabolik dispersiya qanunlu yarımkeçirici əsaslı kvant nöqtəsində effektiv kütlə yaxınlaşmasında elektronların (deşiklərin) enerji spektri tapılmış, zonadaxili və zonalararası keçid ehtimalları hesablanmış, lazer effekti araşdırılmışdır.

Açar sözlər: kvant nöqtə, kvant ölçü, enerji diskretliyi, lazer

Hazırda kristal nanostrukturuların elektron xassələrinin tədqiqi geniş vüsət almışdır. Bu, çoxsaylı tətbiq imkanlarına bağlı olmaqla yanaşı, eyni zamanda fundamental tədqiqatlar nöqtəyi-nəzərindən böyük əhəmiyyət kəsb edir. Belə strukturulara misal kvant nöqtələridir. Son on il ərzində kvant nöqtə əsaslı lazerlərə diqqət xeyli artmışdır. Bunun səbəbi onlardakı yükdaşıyıcıların hərəkətinin üç istiqamətdə məhdudlaşmasının nəticəsində enerji spektrinin tam diskretliyi ilə bağlıdır. Enerjinin diskretliyi hal sıxlığının da diskretliyinə gətirir. Kvant nöqtə əsaslı lazerlərin əsas üstünlükləri onların astana enerjisinin kiçik olması [1, 2], temperatur həssaslığının cüzi olması [3, 4], geniş spektral moduləyisiya zolağına malik olması və həcmələrinin kiçik olmasıdır. Son zamanlar belə lazerlər spektroskopiyada, telerabitədə, optik koherent tomoqrafiyada, tıbdə lazer bıçaqları kimi istifadə olunur.

Fərz edək ki, elektron r_0 radiuslu kvant quyusunun daxilində sərbəst hərəkət edir, xaricində isə potensial enerji Kulon qanununa tabedir:

$$V(r) = \begin{cases} -V_0, & r < r_0, \\ -\frac{e^2}{\varepsilon r}, & r \geq r_0. \end{cases} \quad (1)$$

Burada ε -kvant nöqtəsinin yerləşdiyi mühitin dielektrik nüfuzluğu, e -elektronun yükü, V_0 –quyunun dərinliyidir.

Quyu daxilində elektronun (deşiyin) dalğa funksiyasının radial hissəsi kəsr indeksli $J_{n+\frac{1}{2}}(\rho)$ Bessel funksiyası ilə ifadə olunur. Quyusun xaricində isə

radial hissə ümumiləşmiş Lager polinomları vasitəsilə (L) ifadə oluna bilər. İzolə olunmuş kvant nöqtəsi halında Kulon sahəsinin uzaq təsirli olması üzündən elektronların enerji spektri dalğa funksiyasının quyu xaricindəki davranışı ilə təyin olunur və hidrogen atomunun müvafiq effektiv kütləli və dielektrik nüfuzlu spektrinə bənzərdir:

$$E_n = -\frac{me^4}{2h^2n^2\varepsilon^2}, \quad n=1,2,3\dots \quad (2)$$

Elektronların enerji səviyyələri məlum olduğu üçün quyunun sərhədində dalğa funksiyasının özünün və törəməsinin

$$R_{xar,l}(r=r_0) = R_{dax,l}(r=r_0), \quad \frac{\partial R_{xar,l}(r)}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = \frac{\partial R_{dax,l}(r)}{\partial r} \Big|_{r=r_0} \quad (3)$$

kəsilməzliyi şərtlərindən quyunun ölçülərinə məhdudiyət yaranır.

$V_0 = 0.1eV$, $m = 0.067 \cdot 9.1 \cdot 10^{-28}q$, $\varepsilon = 12$ olsa, $n=1$, $l=0$ halı üçün kvant quyusunun aşağıdakı mümkün ölçülər toplusunu almış olarıq:

$$r_0=0.205 a_0, r_0=1.269 a_0, r_0=2.168 a_0, r_0=2.972 a_0, r_0=3.515 a_0; \quad (4)$$

$$l=0 \text{ və } n_l=2 \text{ olsa,}$$

$$r_0=0.205 a_0, r_0=1.299 a_0, r_0=2.780 a_0, r_0=3.645 a_0, r_0=4.478 a_0, \quad (5)$$

burada $a_0=9.067 \cdot 10^{-7} \text{ sm}$

Eyni ilə $n>2$ - lər üçün də uyğun ifadələri almaq olar.

Ferminin qızıl qaydasının köməyi ilə müxtəlif hallar arasındakı optik keçidlər hesablanmışdır:

$$W(\omega) = \frac{2\pi}{\hbar} \frac{2\pi\hbar e^2}{m_0^2\omega V} \sum_{i,f} |\langle f|\mathbf{e}\mathbf{p}|i\rangle|^2 \delta(\varepsilon_f - \varepsilon_i - \hbar\omega) \quad (6)$$

Burada $\langle f|\mathbf{e}_r\mathbf{p}|i\rangle$ matris elementidir, i, f , uyğun olaraq, başlanğıc və son halları işarə edir, $\varepsilon_i, \varepsilon_f$ başlanğıc və son halların enerjisi, ω , \mathbf{e}_r düşən işığın tezliyi və polarizasiyası, \mathbf{p} elektronun impuls operatorudur və

$$\langle f|\mathbf{e}\mathbf{p}|i\rangle = \int \Psi^* \mathbf{e}\mathbf{p} \Psi dV, \quad (7)$$

$$\omega_{mn} = \frac{E_m - E_n}{\hbar} \quad E_n \text{ } n\text{-ci halın enerjisidir.} \quad (8)$$

Hesablamalar göstərir ki, baxılan mühitə yerləşdirilmiş atom üçün bu keçidlərin ehtimalı $P \approx 2 \cdot 10^{-19}$ - a bərabərdir. Yarımkəçirici kvant nöqtələrində belə keçidlərin ehtimalı çox-çox böyük alınır. Məsələn, $n=2$, $l=1$ ($r_0=0.205 a_0$) halından $n=1$, $l=0$ ($r_0=0.167 a_0$) halına keçidin ehtimalı $P=1.9 \cdot 10^{-14}$ - ə bərabərdir.

$n=2$, $l=1$ ($r_0=1.269 a_0$) halından $n=1$, $l=0$ ($r_0=1.531 a_0$) halına keçid ehtimalı $P=7.6 \cdot 10^{-19}$ - dur.

$n=2$, $l=1$ ($r_0=3.514 a_0$) halından $n=1$, $l=0$ ($r_0=4.062 a_0$) halına keçid ehtimalı $P=2.3 \cdot 10^{-20}$ -yə bərabərdir.

Əks keçidlərin ehtimalı xeyli kiçik alınır. Bu, kvant nöqtələrində inversiya halının yaradılmasını mümkün edir. Bu da, öz növbəsində, müxtəlif yarımkeçirici əsaslı kvant nöqtələrində müxtəlif tezlik intervallarında işləyən lazerlərin yaradılmasını təmin edir.

ƏDƏBİYYAT

- 1.J.H.Davies.The Physics of Low-dimensional semiconductors.Cambridge University Press, 1998
- 2.E.L.Ivchenko. Optical Spectroscopy of Semiconductor Nanostructures.(Alpha Science Intern.Ltd. Harrow, UK, 326 (2005)
- 3.Kryzhanovskaya, N.V., Zhukov, A.E., Maximov, M.V., et al., IEEE J. Selected TopicsQuantum Electron. 21, 1900905 (2015).
- 4.Moiseev, E., Kryzhanovskaya, N., Maximov, M., Opt. Lett. 43, 4554 (2018).
- 5.V.V. Mitin, V.A. Kochelap, Mitra Dutta, M. A. Stroschio . Introduction to Optical and Optoelectronic Properties of Nanostructures Cambridge University Press, 2019; 403 pages
6. P.Harrison, A.Valavanis. Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures. 2016, Edition 4, Wiley, 624p.
7. G. Iadonisi, G. Cantele, M. L. Chiofalo Introduction to Solid State Physics and Crystalline Nanostructures, Springer-Verlag Mailand. 2014, 707p.
- 8.Yu-Guo Guo. Nanostructures and Nanomaterials for Batteries: Principles and Applications, Springer Singapore, 2019, 393p.

ОПТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ В СФЕРИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКЕ. ЛАЗЕРНЫЙ ЭФФЕКТ

Т.Г.ИСМАЙЛОВ, А.Ф.АСЛАНЛЫ

РЕЗЮМЕ

Рассмотрена задача об оптических переходах в квантовой точке основе полупроводников в сравнении с переходами в атомных спектрах. Показано, что в квантовой точке на основе полупроводника вероятность таких переходов на несколько порядков больше, чем это в атомах. Рассмотрен лазерный эффект.

Ключевые слова: квантовая точка, размерное-квантование, дискретность энергии, лазер.

OPTICAL TRANSITIONS IN A SPHERICAL QUANTUM POINT. LASER EFFECT

T.H.İSMAYILOV, A.F.ASLANLI

SUMMARY

The problem of optical transitions in a quantum dot based on semiconductors is considered in comparison with transitions in atomic spectra. It is shown that in a semiconductor-based quantum dot the probability of such transitions is several orders of magnitude higher than in atoms. The laser effect is considered.

Keywords: quantum dot, size quantization, energy discreteness, laser.