

3-27-2019

POLAR CONDITION IN PARABOLIC POTENTIAL

Paziljon Jamoliddinovich Baymatov

Senior teacher at the department of physics at Namangan State University, candidate of physical-mathematical science

Abdurasul Gafurovich Gulyamov

Dosent of physical-mathematical science at Physical-technical Institute of science, producing organization at the Scientific Academy of the Republic of Uzbekistan

Shukurillo Turgunboyevich Inoyatov

Senior teacher at the department of physics at Namangan State University

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/buxdu>

Recommended Citation

Baymatov, Paziljon Jamoliddinovich; Gulyamov, Abdurasul Gafurovich; and Inoyatov, Shukurillo Turgunboyevich (2019) "POLAR CONDITION IN PARABOLIC POTENTIAL," *Scientific reports of Bukhara State University*: Vol. 2 : Iss. 1 , Article 5.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/buxdu/vol2/iss1/5>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific reports of Bukhara State University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact brownman91@mail.ru.

УДК: 538.9

ПАРАБОЛИК ПОТЕНЦИАЛДА ПОЛЯРОН ҲОЛАТЛАРИ
ПОЛЯРОННОЕ СОСТОЯНИЕ В ПАРАБОЛИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ
POLAR CONDITION IN PARABOLIC POTENTIAL

Baymatov Paziljon Jamoliddinovich*Senior teacher at the department of physics at Namangan State University, candidate of physical-mathematical science***Gulyamov Abdurasul Gafurovich***Dosent of physical-mathematical science at Physical-technical Institute of science, producing organization at the Scientific Academy of the Republic of Uzbekistan***Inoyatov Shukurillo Turgunboyevich***Senior teacher at the department of physics at Namangan State University*

Таянч сўзлар: Полярон, Квант нуқта, тутувчи потенциал, асосий ҳолат энергияси, Вариацион усул, Грин функцияси, ихтиёрий боғланиш кучи тақрибийлиги.

Ключевые слова: полярон, квантовая точка, потенциал удержаний, энергия основного состояния, вариационный метод, функция Грина, приближение произвольной силы связи.

Key words: Polaron, Quantum Dot, Confining Potential, Ground-State Energy, Variation method, Green Function, All Coupling Approximations.

Аннотация

Муҳитни кутбланишини ҳисобга олинган ҳолда параболик потенциалда ҳаракат-ланувчи электрон энергияси функционалининг таҳлили ўтказилган. Системанинг тўла энергияси учун аналитик формула олинган. Полярон ўлчами тўла равишда квант нуқтанинг ўлчами орқали аниқланиши кўрсатилган. Фрёлх доимийсини ҳар хил қий-матлари учун электрон энергиясини конфайнмент кучига боғланиш графиги келтирилган.

Аннотация

Проведен анализ функционала энергии электрона, движущегося в параболическом потенциале с учетом поляризации среды. Получена аналитическая формула для полной энергии системы. Показано, что характерный размер полярона полностью контролируется размером квантовой точки. Приведен график зависимости энергии электрона от сила конфайнмента для разных значений константы Фрёлха.

Abstract

The analysis of the electron's energy moving in a parabolic potential with regard to the polarization of the medium is carried out. An analytical formula is obtained for the total energy of the system. It is shown that the characteristic size of the polaron is completely controlled by the size of the quantum dot. The graph of electron's energy versus confinement strength for different values of the Frohlich constant is shown.

Введение. Квантоворазмерные гетероструктуры на основе полупроводниковых материалов находят широкое применение в современных светоизлучающих и фотопреобразующих полупроводниковых приборах. В настоящее время наибольшее практическое применение нашли приборы на основе квантовых ям и квантовых точек.

В полярных кристаллах взаимодействие носителей с полярно-оптическими фононами является сильным. Поэтому изучение поляронных эффектов, характерных для низкоразмерных систем, представляет значительный интерес [1-3]. Для оценки

полярных эффектов на спектр электрона в наноструктурных материалах применяют различные приближения [4-10].

Основная часть. В работе [10] предложен метод расчета энергии полярного состояния в параболическом потенциале. Дифференциальное уравнение для амплитуды смещений фононов точно решено методом функций Грина. Получен следующий функционал для энергии электрона в квантовой точке с учетом полярных эффектов:

$$\varepsilon_p = \frac{3}{2}\mu^2 + \frac{3\gamma^2}{8\mu^2} - \alpha\sqrt{\frac{2}{\pi}}\mu \int_0^\infty dt \frac{e^{-t}}{\sqrt{1-\exp(-2\mu^2 t)}}. \quad (1)$$

В (1) энергия измеряется в единице $\hbar\omega_0$, где $\hbar\omega_0$ - энергия оптических фононов, γ - безразмерная сила конфинмента, α - константа Фрелиха, μ - вариационный параметр.

Однако функционал (1) содержит однократный интеграл. Поэтому для расчета энергии электрона в работе [10] был применен численный метод. В настоящей работе проведен анализ этого функционала.

После замены $\sqrt{1-\exp(-2\mu^2 t)} = u$ интеграл в (1) имеет вид

$$\int_0^\infty dt \frac{e^{-t}}{\sqrt{1-\exp(-2\mu^2 t)}} = \frac{1}{\mu^2} \int_0^1 (1-u^2)^{\frac{1-2\mu^2}{2\mu^2}} du$$

С помощью известных формул [11] (3.249.5 и 8.384)

$$\int_0^1 (1-x^2)^{Z-1} dx = \frac{1}{2} B\left(\frac{1}{2}, Z\right), \quad Z > 0, \quad B(x, y) = \frac{\Gamma(x)\Gamma(y)}{\Gamma(x+y)},$$

где $B(x, y)$ - бета и $\Gamma(x)$ - гамма функция, можно переписать функционал (1) в виде

$$\varepsilon_p = \frac{3}{2}\mu^2 + \frac{3\gamma^2}{8\mu^2} - \frac{\alpha}{\mu\sqrt{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2\mu^2}\right)}. \quad (2)$$

Здесь учтено, что $\Gamma(1/2) = \sqrt{\pi}$. Минимум энергии (2) соответствует экстремальному значению μ_{ext} , которое можно найти из условия $d\varepsilon_p/d\mu = 0$.

При численных расчетах значения безразмерной силы конфинмента лежат в диапазоне $\gamma \approx 1..40$. Для наноразмерных полупроводниковых структурах из полярных материалов, например, для GaAs $\alpha = 0.06$ [12]. В сильно полярных материалах (ионные кристаллы) - $\alpha > 1$.

На рисунке точечной линией показана зависимость $\varepsilon_p(\gamma)$ (2) при $\alpha = 0$. Символы соответствуют зависимости $\varepsilon_p(\gamma)$, полученной методом численной минимизации (2).

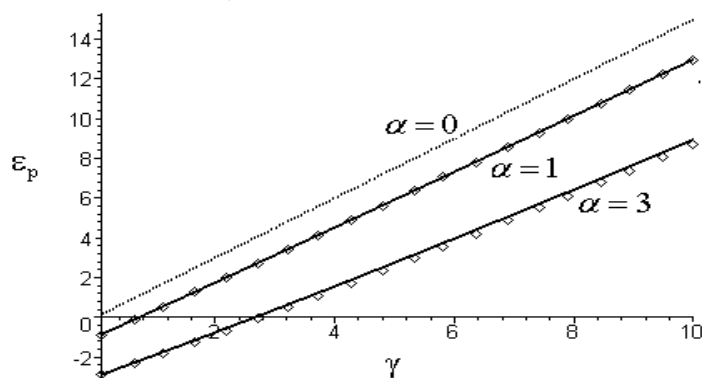


Рис.1. График зависимости

При $\alpha = 0$ (поляризация среды полностью отсутствует) функционал (2) описывает энергию электрона, движущегося в параболическом потенциале. В данном случае экстремальные параметры для функционала (2) равны:

$$\mu_{\text{ext}}^0 = \sqrt{\frac{\gamma}{2}}, \quad \varepsilon_p \approx \frac{3}{2}\gamma, \quad \alpha = 0. \quad (3)$$

Если для оценки последнего слагаемого (2) будем использовать значения μ_{ext}^0 , то имеем

$$\varepsilon_p \approx \frac{3}{2}\gamma - \frac{\alpha}{\sqrt{\gamma}} \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\gamma}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\gamma}\right)}. \quad (4)$$

На рисунке эта зависимость показана сплошной линией для разных значений α . Из полученных результатов следует, что простая формула (4) достаточно хорошо описывает точный минимум функционала (2). Это означает, что характерный размер полярона полностью контролируется размером квантовой точки.

Заключение. Таким образом, при анализе функционала (1) получена аналитическая формула (4) для энергии электрона в квантовой точке с параболическим удерживающим потенциалом. Для проверки полученного результата проведено графическое сравнение формул (1) и (4). Сравнение показало, что полученная аналитическая формула (4) удовлетворительно описывает точный минимум функционала (2).

REFERENCES

1. **Alexandrov A.S.** in Nanotechnology for Electronic Materials and Devices, edited by A. Korkin, E. Gusev, J.K. Labanowski, and S. Luryi (Springer, New York, 2006). – P. 305.
2. **Devreese J.T., Fomin V.M. and Pokatilov E.P.** In Handbook of Semiconductor Nanostructures and Nanodevices, Vol. 4, edited by A.A. Balandin and K.L. Wang (American Scientific Publishers, Los Angeles, 2006). – P. 339.
3. **Galperin M., Ratner M.A. and Nitzan A.** – J.Phys.: Condens. Matter 19, 103201 (2007).
4. **Pokatilov E.P., Klimin S.N., Balaban S.N. and Fomin V.M.** Phys. Status Solidi B 189, 433 (1995).
5. **Pokatilov E.P., Fomin V.M., Balaban S.N., Klimin S.N. and Devreese J.T.** Phys. Status Solidi B 210, 879 (1998).
6. **Klimin S.N., Pokatilov E.P. and Fomin V.M.** Phys. Status Solidi B 184, 373 (1994).
7. **Oshiro K., Akai K. and Matsuura M.** Phys. Rev. B 58, 7986 (1998).
8. **Mukhopadhyay S. and Chatterjee A.** J.Phys.: Condens. Matter 11, 2071 (1999).
9. **Krishna P.M., Mukhopadhyay S. and Chatterjee A.** Phys. Lett. A 360, 655 (2007).
10. **Baymatov P.J., Inoyatov Sh.T.** Vliyanie polarizatsii sredi na elektronnyuyu energiyu v kvantovoy tochke// Ukrainskiy fizicheskiy jurnal. - 2015. - № 3. - S. 279-282.
11. **Gradshteyn I.S., Ryzhik I.M.** Tablitsi integralov, summ, ryadov i proizvedeniy. - M.: Fizmatgiz, 1963. - 1100 s.
12. **Zeeger K.** Fizika poluprovodnikov. - M.: Mir, 1977. - 615 s.