

ESTADOS CUANTICOS EN UN PUNTO CONFINADO MAGNETICAMENTE

W. López¹, A. Camacho², J. Giraldo³ y J. A. Rodríguez³.

1. Departamento de Matemáticas y Física. Universidad del Norte. Barranquilla.
2. Departamento de Física. Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia;
3. Departamento de Física. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

RESUMEN

En este trabajo estudiamos un sistema en el cual un portador (electrón o hueco) o un excitón está confinado por un campo magnético inhomogéneo. Calculamos numéricamente las energías de confinamiento y las correspondientes funciones de ondas para algunos estados del electrón, el hueco y el excitón como sistemas independientes en el punto cuántico. Usamos un perfil de campo inhomogéneo tipo antipunto magnético.

ABSTRACT

In this work we study a system in which a carrier (electron or hole) or an excitón is confined by nonhomogeneous magnetic field. For some states of the electron, hole and excitón as separate systems in the quantum dot, we calculate the confinement energy and their corresponding wave functions numerically. We use a nonhomogeneous – field profile sort magnetic antidote.

INTRODUCCION

El impresionante progreso en la fabricación de estructuras semiconductoras de baja dimensionalidad durante la última década ha hecho posible reducir la dimensión efectiva de materiales tridimensionales a sistemas de menor dimensionalidad como pozos, hilos y puntos cuánticos. En los puntos cuánticos, el portador está confinado en todas las tres direcciones espaciales, reduciendo así los grados de libertad a cero [1,2]. Mostramos en este trabajo el efecto del confinamiento magnético sobre electrones, hueco y excitones en un punto cuántico semiconductor. El perfil de campo magnético tipo antipunto que hemos utilizado, se ha realizado experimentalmente [6-8] colocando un disco superconductor encima de un gas bidimensional de electrones (2DEG), con un campo magnético homogéneo aplicado perpendicular al gas y al disco. Debido al efecto Meissner, característico del estado superconductor, en la región debajo del disco la intensidad del campo magnético es nula.

En la siguiente sección presentamos el modelo teórico empleado para describir los estados de una partícula y de un excitón 2D en el punto cuántico. En la sección 3 mostramos los resultados obtenidos para las energías de confinamiento y funciones de onda de un electrón, un hueco y un excitón. Las conclusiones de nuestro estudio se presentan en la sección 4.

MODELO TEORICO

El sistema físico en consideración es un excitón 2D confinado en un punto cuántico. Por lo tanto se considera un sistema bidimensional de dos partículas con cargas opuestas interactuando a través de la interacción de Coulomb y moviéndose en un perfil de campo magnético tipo antipunto.

El Hamiltoniano para este sistema en la aproximación de masa efectiva es [8]

$$H = \frac{\hbar}{2m_e^*} \left\{ -i\nabla_e + \frac{e}{\hbar c} \mathbf{r} A(\mathbf{r}_e) \right\}^2 + \frac{\hbar}{2m_h^*} \left\{ -i\nabla_h - \frac{e}{\hbar c} \mathbf{r} A(\mathbf{r}_h) \right\}^2 - \frac{e^2}{e|\mathbf{r}_e - \mathbf{r}_h|}, \quad (1)$$

donde m_e^* y m_h^* representan la masa efectiva del electrón y el hueco, respectivamente, \mathbf{r}_e y \mathbf{r}_h son las coordenadas respectivas del electrón y el hueco en el plano, ϵ es la constante dieléctrica del semiconductor. El primer y segundo término corresponden al Hamiltoniano de un electrón y de un hueco en un campo magnético inhomogéneo, respectivamente, los cuales hemos solucionado numéricamente. El tercer término es la interacción Coulombiana entre el electrón y el hueco.

Usando la aproximación adiabática se pueden describir separadamente los movimientos relativo y del centro de masa del excitón. En dicha aproximación se asume que el movimiento relativo del excitón es rápido en comparación con el movimiento de su centro de masa, y que la coordenada relativa es mucho más pequeña que la del centro de masa. El movimiento del centro de masa corresponde al de una partícula libre y el relativo es el de una partícula cargada en presencia de un campo magnético inhomogéneo y en un potencial de Coulomb.

En el caso de campos débiles, donde se cumple que $\hbar w_c \ll p^2 R_y^*$ siendo w_c la frecuencia de ciclotrón y R_y^* es el Ridberg efectivo, se ha solucionado el problema del movimiento relativo mediante la técnica de perturbaciones y las energías obtenidas dan la corrección en el operador energía cinética del centro de masa. De esta manera se conforma el Hamiltoniano efectivo para el movimiento del centro de masa, el cual hemos resuelto numéricamente.

RESULTADOS

En la figura 1 se observa un comportamiento lineal en la energía para campos magnéticos muy pequeños, donde es muy probable que se presenten los niveles de Landau para una partícula en un campo magnético homogéneo. Es de señalar efecto del confinamiento magnético sobre una partícula, donde se muestra que a medida que se incrementa el campo magnético aplicado, la partícula se hace más localizada en la región del punto.

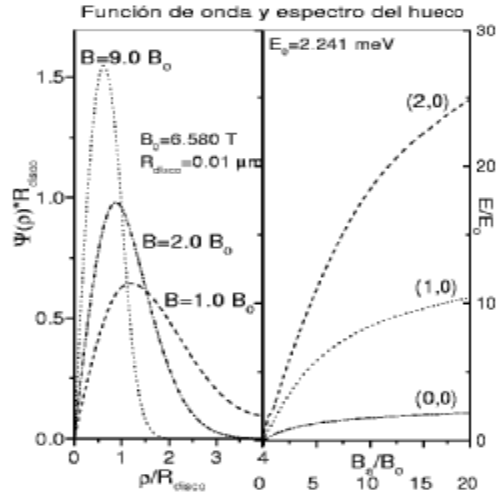


Figura 1: Estados cuánticos del hueco confinado.

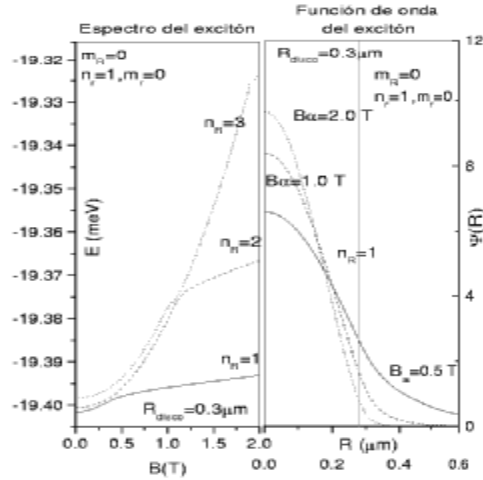


Figura 2: Estados cuánticos del excitón confinado.

En la grafica de energía para el excitón (figura 2) se observa un comportamiento característico de su dependencia con el campo magnético, así como la contribución inarmónica del potencial efectivo para el confinamiento. Esta energía es negativa debido a la influencia de la energía de campo cero del movimiento relativo (energía hidrogénica). También se nota como el excitón se hace más localizado en la región del punto con el incremento del campo aplicado. En la figura 3 se observa que los estados excitados del centro de masa son más confinados.

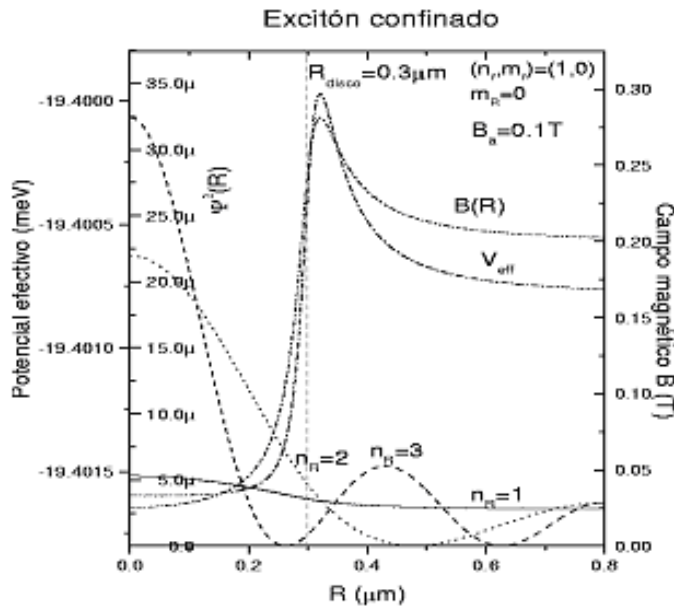


Figura 3: Densidad de probabilidad, potencial efectivo y perfil de campo para el excitón confinado.

CONCLUSION

Hemos estudiado los estados cuánticos de una partícula y de un excitón confinados magnéticamente en un punto cuántico. El confinamiento es debido a un perfil de campo tipo antipunto magnético, observándose un comportamiento lineal para energías en campos bajos. Se confinó la partícula o el excitón incrementando el campo aplicado. Como perspectiva de este estudio, en un trabajo posterior, analizaremos el efecto del espín sobre estos estados, debido a que es una magnitud física relacionada con campos magnéticos. También utilizaremos los resultados anteriores para estudiar la óptica del sistema.

REFERENCIAS

- [1] L. Jacak, P. Hawrylak, and Wons. Quantum Dots. Springer, 1998.
- [2] P. Harrison. Quantum Wells, Wires and Dots. Wiley, 2000.
- [3] W. Que. Phys. Rev. B, 45: 11036, 1992.
- [4] V. Halonen, T. Chakraborty, and P. Pietiläinen. Phys. Rev. B, 45: 5980, 1992.
- [5] J. Reijnders, A. Matulis, and F. M. Peeters. Phys. Rev. B, 59: 2817, 1999.
- [6] I. S. Ibrahim, V. A. Schweigert, and F. M. Peeters. Phys. Rev. B, 57: 15416, 1998.
- [7] I. S. Ibrahim, and F. M. Peeters. Phys. Rev. B, 52: 17321, 1995.
- [8] J. Freire, A. Matulis, F. M. Peeters, N. Freire, and G. Farias. Phys. Rev. B, 61: 2895, 2000.