

Estudo do Efeito Hall Quântico em Sistemas Nanométricos

Francisco Carol Bonfim Leal (bolsista do PIBIC/CNPq), Prof. Dr. Tayroni Francisco de Alencar Alves
(Orientador, Departamento de Física - UFPI)

Introdução

As propriedades de transporte em matérias nanométricos são características que vêm sendo estudadas por muitos físicos pelo mundo. Logo o desenvolvimento de novos dispositivos eletrônicos necessita de uma base teórica mais aprofundada, que requer uma descrição quântica das suas propriedades. Neste trabalho pretendemos fazer uma aproximação da equação de Schrödinger pelo método Tight-Binding levando em conta as interações spin-orbita e Zeeman e encontrar as propriedades de transporte da rede quadrada. Propriedades estas que são muito importantes para obtenção do Efeito Hall Quântico, como outras.

Metodologia

Nesta primeira etapa fizemos cálculos para encontrar a relação de dispersão da rede quadrada com uma célula unitária por sítio. Também para efeito de conhecimento o estudo do modelo Tight-Binding e a teoria de Segunda Quantização que são de os modelos teóricos que serão utilizados.

O cálculo baseou-se em resolver uma Hamiltoniana de Schrödinger segundo quantizada, que será escrita abaixo

$$H = \sum_{\vec{r}} -t \left(a_{\vec{r}+a\hat{i}}^\dagger a_{\vec{r}} + a_{\vec{r}+a\hat{j}}^\dagger a_{\vec{r}} - 4a_{\vec{r}}^\dagger a_{\vec{r}} + H.c \right) \sum_{\vec{r}, \vec{r}'} V_{\vec{r}, \vec{r}'} a_{\vec{r}}^\dagger a_{\vec{r}'}$$

Somados os termos Spin-Orbita Rashba e Dresselhaus

$$H_{RSOI} = \sum_{\vec{r}} \frac{\alpha_{R'}}{4a} \left[i \left(a_{\vec{r}+a\hat{j}, \uparrow}^\dagger a_{\vec{r}, \downarrow} + a_{\vec{r}+a\hat{j}, \downarrow}^\dagger a_{\vec{r}, \uparrow} + H.c \right) + \left(-a_{\vec{r}+a\hat{i}, \uparrow}^\dagger a_{\vec{r}, \downarrow} + a_{\vec{r}+a\hat{i}, \downarrow}^\dagger a_{\vec{r}, \uparrow} + H.c \right) \right]$$

e

$$H_{RSOI} = \sum_{\vec{r}} \frac{\alpha_{D'}}{4a} \left[i \left(a_{\vec{r}+a\hat{i}, \uparrow}^\dagger a_{\vec{r}, \downarrow} + a_{\vec{r}+a\hat{i}, \downarrow}^\dagger a_{\vec{r}, \uparrow} + H.c \right) + \left(-a_{\vec{r}+a\hat{j}, \uparrow}^\dagger a_{\vec{r}, \downarrow} + a_{\vec{r}+a\hat{j}, \downarrow}^\dagger a_{\vec{r}, \uparrow} + H.c \right) \right]$$

Sendo $\alpha_{R'} = \alpha_R e^{-\frac{e}{\hbar} \phi \vec{A} \cdot d \vec{i}}$ e $\alpha_{D'} = \alpha_D e^{-\frac{e}{\hbar} \phi \vec{A} \cdot d \vec{i}}$, onde o termo exponencial corresponde a Substituição de Peierls – que corresponde ao efeito de um campo externo com potencial vetor A e e é a carga elétrica elementar.

Também é acrescentado o Termo Zeeman

$$H_z = -\frac{e\hbar B}{2m^*} \sum_{\vec{r}} (a_{\vec{r},\uparrow}^\dagger a_{\vec{r},\uparrow} - a_{\vec{r},\downarrow}^\dagger a_{\vec{r},\downarrow})$$

Resultados e discussão

Fazendo a Transformada de Fourier da Hamiltoniana total nos obtemos o seus auto-valores diagonalizando a matriz da Hamiltoniana, encontrando o seguinte resultado

$$E_{\pm} = 4t' \cos\left(\frac{eBa^2}{\hbar}\right) - 2t' \cos\left(k_x a + \frac{eBa^2}{\hbar}\right) - 2t' \cos\left(k_y a + \frac{eBa^2}{\hbar}\right) \\ \pm \left\{ \left(\frac{eBa^2}{\hbar}\right)^2 + \frac{\alpha_{Ri}^2 \alpha_{Di}^2}{a^2} \left[\left(\sin\left(k_x a + \frac{eBa^2}{\hbar}\right)\right)^2 + \left(\sin\left(k_y a + \frac{eBa^2}{\hbar}\right)\right)^2 \right] \right. \\ \left. + \frac{\alpha_{Ri}^2 \alpha_{Di}^2}{a^2} \left(\sin\left(k_x a + \frac{eBa^2}{\hbar}\right)\right)^2 \left(\sin\left(k_y a + \frac{eBa^2}{\hbar}\right)\right)^2 \right\}^{1/2}$$

Conclusão

Pelos resultados que encontrados conseguimos obter a relação de dispersão da rede quadrada através da Hamiltoniana Tight-Binding levando em conta o acoplamento spin orbita e a interação Zeeman. O cálculo da rede quadrada é de fundamental importância teórica para se encontra a relação de dispersão de redes mais complexas e suas propriedades de transporte.

Referências bibliograficas

- [1]Ashcroft, Neil W.;Mermim, David N.; Solid State Physics
- [2]Metalidis, Gergo; Eletronic Transport in Mesoscopic Systems 2009.
- [3]Neto de Andrade, Manuel Almeida; Sistemas Bidimensionais Modulados na Presença de Campo Magnético
- [4]WINKLER,Roland Winkler ,Spin–Orbit Coupling Effects in Two-Dimensional Electron and Hole Systems
- [5]DE ALENCAR ALVES,TAYRONI FRANCISCO;Propriedades Físicas de um Gás de Elétrons 2D na Presença de um Campo Magnético Inclinado.

Palavras-chave: Tight-Binding. Termos Rashba. Termo Dresselhaus..