

приписано нами к дефектам типа вакансии меди, образующим акцепторный энергетический уровень в запрещённой зоне. Соотношение между концентрациями этих дефектов определяет тип проводимости плёнок. Определённый нами из термоэлектрических измерений р-тип проводимости плёнок свидетельствует о преимущественной концентрации акцепторных уровней и, соответственно, дефектов типа вакансии меди в исследованных плёнках  $\text{CuInSe}_2$ .

## СПЕКТР ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В СИСТЕМАХ ОСЦИЛЛЯТОРНОГО ТИПА

*В.С. Иванов*

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент *Н.С. Буйнов*  
*Витебский государственный университет имени П. Машерова*

Пусть гамильтониан системы  $N$  многоуровневых частиц, без учета взаимодействия их с возбуждающим полем, имеет вид:  $H_0 = \sum_{j=1}^N \hbar\omega_0 b_j^\dagger b_j$ , где  $\hbar\omega_0$  - энергия возбуждения отдельной

квантовой частицы,  $b_j^\dagger$ ,  $b_j$  - операторы Бозе. Гамильтониан поля фотонов:  $H_1 = \hbar\omega_k a_k^\dagger a_k$ , где учитывается одна резонансная мода излучения,  $a_k^\dagger$ ,  $a_k$  - операторы рождения и уничтожения.

Гамильтониан взаимодействия:  $H_2 = \sum_{j=1}^N \left( \frac{\lambda}{\sqrt{N}} (b_j^\dagger)^n a_k e^{i\vec{k}\vec{r}_j} + \frac{\lambda^*}{\sqrt{N}} (b_j)^n a_k^\dagger e^{-i\vec{k}\vec{r}_j} \right)$ , где  $\lambda$  - константа

взаимодействия,  $n = 1$  соответствует линейному случаю, а  $n = 2$  - билинейному случаю.

Полный гамильтониан системы, взаимодействующей с фотонным полем, тогда запишется в виде:  $H = H_0 + H_1 + H_2$ ,

$$H = \hbar\omega_k a_k^\dagger a_k + \sum_{j=1}^N \hbar\omega_0 b_j^\dagger b_j + \sum_{j=1}^N \left( \frac{\lambda}{\sqrt{N}} (b_j^\dagger)^n a_k e^{i\vec{k}\vec{r}_j} + \frac{\lambda^*}{\sqrt{N}} (b_j)^n a_k^\dagger e^{-i\vec{k}\vec{r}_j} \right). \quad (1)$$

Исследование системы производится методом запаздывающих функций Грина, с помощью которого находится спектр элементарных возбуждений.

Получены следующие результаты:

1)  $n = 1$  - мягкая мода отсутствует, а следовательно фазовый переход в такой системе невозможен;

2)  $n = 2$  - мягкая мода обращается в ноль при температуре, определяемой из следующего термодинамического уравнения:

$$\langle b^\dagger b \rangle = \frac{1}{2} \left( \frac{\hbar^2 \omega_0 \omega_k}{|\lambda|^2} - 1 \right).$$

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ОСЦИЛЛОГРАФАХ

*А.А. Карнов, С.В. Прохоров*

Научный руководитель – к.ф.-м.н., профессор *А.Г. Головейко*  
*Белорусский национальный технический университет*

Компьютерные технологии в современных осциллографах превратили их в измерительные приборы высокой точности с принципиально новыми техническими возможностями, связанными с запоминанием осциллограммы и её воспроизведением после