

Поглощение света квантовой точкой в присутствии газа двумерных дипольных экситонов

Боев М.В.¹, Ковалев В.М.^{1,2}, Чаплик А.В.^{1,3}

¹ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, ул. академика Ржанова, 2

²Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

³Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

Взаимодействие квантовой системы с окружающей средой (термостатом) является одной из ключевых задач статистической физики, и до настоящего времени эта задача представляет значительный интерес. Теоретическому рассмотрению различных аспектов этого взаимодействия посвящено большое количество работ [1]. Среди большого разнообразия моделей и систем, изучаемых в рамках этой задачи, в большинстве своем термостат рассматривается как набор невзаимодействующих осцилляторов. Тем не менее, взаимодействие частиц термостата между собой, а также возможность фазового перехода в термостате, должны существенным образом влиять на поведение квантовой системы. В рамках настоящей работы нас интересовал вопрос влияния фазового перехода бозе-частиц термостата в режим бозе-эйнштейновского конденсата (БЭК) на свойства взаимодействующей с ним квантовой подсистемы. Поставленный вопрос изучался на примере квантовой точки (КТ), взаимодействующей с двумерным газом дипольных экситонов.

В работе представлена теория, описывающая влияние экситонного термостата на коэффициент поглощения света в КТ. Рассматривается система, состоящая из двойной квантовой ямы (содержащей двумерный газ дипольных экситонов) и расположенной над ней КТ. Для простоты полагаем, что в зоне проводимости и валентной зоне КТ имеется по одному (невыврожденному) дискретному уровню, т.е. изучается оптический переход в двухуровневой системе, взаимодействующей с экситонным термостатом. Экситонный газ, будучи газом частиц с целым спином, переходит в состояние БЭК при понижении температуры, и в этой связи интерес представляет вопрос влияния фазового перехода экситонного газа на оптический спектр КТ. Учет взаимодействия рожденной светом электрон-дырочной пары (ЭДП) в КТ с термостатом осуществляется в рамках теории возмущений: анализируются диаграммы первого порядка по взаимодействию «ЭДП КТ - экситонный термостат». Массовый оператор ЭДП, описывающий это взаимодействие, определяется структурой спектра элементарных возбуждений экситонного газа, и таким образом, существенно зависит от фазового состояния последнего. Так, в нормальной фазе, элементарными возбуждениями слабонейдеального экситонного газа являются кванты колебаний плотности, имеющие звуковую дисперсию, поэтому влияние термостата на спектр поглощения КТ в данном случае аналогично влиянию акустических фононов кристаллической решетки, в то время как в БЭК-фазе, вклад в собственно-энергетическую часть дают процессы взаимодействия ЭДП КТ с конденсатными и надконденсатными экситонами.

Нами получены аналитические выражения для коэффициента поглощения света квантовой точкой как выше, так и ниже температуры конденсации экситонного газа и анализируется его частотное поведение при фазовом переходе. В качестве примера полученные выражения использованы для оценки вклада термостата в уширение и сдвиг спектра линии межзонного поглощения света простейшей квантовой точки, моделируемой двумерным гармоническим ограничивающим потенциалом.

[1] U. Weiss, *Quantum dissipative systems*, 2nd ed. (World Scientific, 1999)