

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭКСИТОННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В ПЛАНАРНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ КВАНТОВЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В УСЛОВИЯХ КЕРРОВСКОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

✉ И. А. Терещенко, О. В. Тихонова

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына,  
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

✉ tereshchenko.ia19@physics.msu.ru

Исследование динамики экситонных возбуждений в наноструктурных средах является важным научным направлением, представляющим большой интерес как с фундаментальной, так и с практической точки зрения. В таких наномасштабных объектах за счет пространственного квантования возникают новые физические эффекты. В настоящее время локализованные в твердых телах экситонные возбуждения являются хорошими кандидатами для кодирования квантовой информации. Управление свойствами таких систем, а также их использование для развития нанoeлектроники может быть реализовано за счет воздействия электромагнитных полей, включая квантовые. Взаимовлияние полевой и электронной степеней свободы, возникающее в этом случае, может приводить к целому ряду новых физических эффектов, не имеющих аналогов в случае воздействия классических полей. Анализ гибридных электронно-фотонных систем с возможностью обмена квантовыми корреляциями открывает новые возможности для создания квантового интерфейса, крайне востребованного для разработки квантово-информационных технологий. Экспериментальные исследования таких систем уже ведутся [1], однако теоретические подходы разработаны крайне мало, хотя и очень востребованы. Отдельную проблему представляет учет нелинейности для поля, возникающей в твердотельных системах и оказывающей существенное влияние на процессы возбуждения.

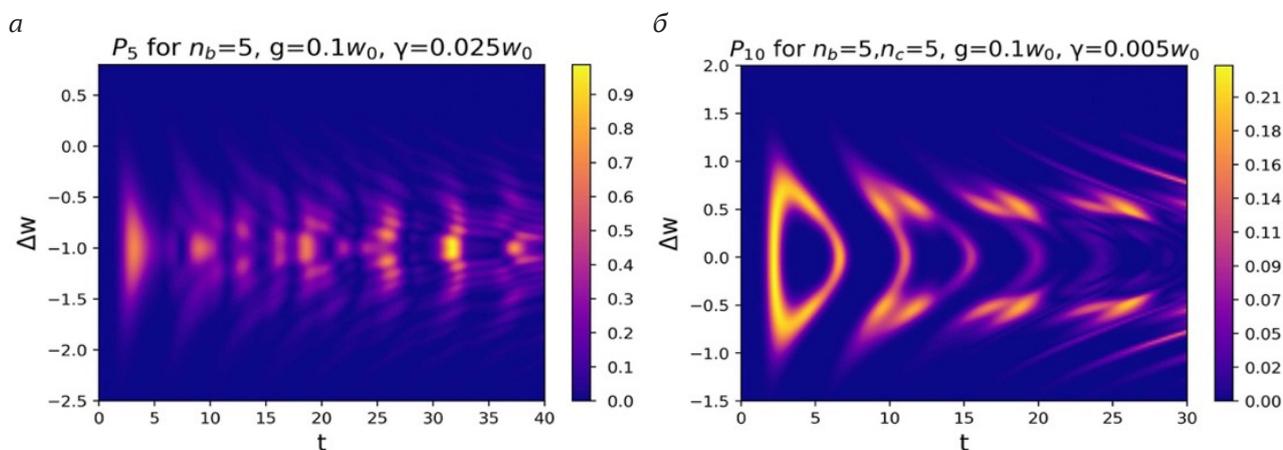
Представленный в данной работе теоретический подход описывает динамику экситонных возбуждений, индуцированных в твердотельной наноструктуре неклассическим электромагнитным полем в условиях нелинейной Керровской фазовой модуляции. Формирование экситонов рассмотрено в модели лестничных бозонных операторов [2]. Взаимодействие с модами электромагнитного поля исследуется в рамках решения нестационарного уравнения Шредингера с гамильтонианом:

$$\begin{aligned} \widehat{H} = & \hbar\omega_0 \widehat{a}^+ \widehat{a} + \hbar(\omega_0 + \Delta\omega) \widehat{b}^+ \widehat{b} + \hbar g / 2 (\widehat{a}^+ \widehat{b} + \widehat{b}^+ \widehat{a}) + \hbar(\omega_0 - \Delta\omega) \widehat{c}^+ \widehat{c} + \\ & + \hbar g / 2 (\widehat{a}^+ \widehat{c} + \widehat{c}^+ \widehat{a}) + \hbar \sum_{i=1,2} \widehat{n}_i (\widehat{n}_i - 1) + \hbar \gamma \widehat{n}_1 \widehat{n}_2. \end{aligned}$$

В данной работе исследовано влияние фазовой самомодуляции при взаимодействии с одномодовым полем, а также перекрестной фазовой модуляции при взаимодействии наносистемы с двумя спектральными компонентами квантового поля.

В результате учета фазовой самомодуляции продемонстрировано наличие более богатой динамики возбуждения. Показано, что различные экситонные каналы характеризуются разной временной модуляцией, что позволяет разделять каналы возбуждения по времени. Обнаруже-

но существование нескольких режимов динамики возбуждения в зависимости от соотношения нелинейности и силы взаимодействия поля с электронной подсистемой. Так, при малой нелинейности наблюдается хорошая заселенность верхних каналов, динамика аналогична осцилляциям Раби, в случае же большой нелинейности верхние каналы оказываются сильно подавлены. Тем не менее обнаружена возможность усиления возбуждения за счет нелинейности. Найдены оптимальные значения параметра нелинейности  $\gamma$ , при которых возбуждение соответствующего канала оказывается максимальным, что является новым и важным результатом. Продемонстрировано управление различными каналами возбуждения, а также возможность подавления одного или другого канала за счет варьирования частотной отстройки, что является крайне перспективным для различных практических приложений. Для каждого канала обнаружена оптимальная отстройка, при которой его возбуждение максимально, и получена аналитическая формула для ее значения. Еще в большей степени данный эффект проявляется в случае двухмодового поля при учете перекрестной фазовой модуляции, что продемонстрировано на рисунке.



2D-распределение вероятности экситонного возбуждения наивысшего канала в зависимости от  $\Delta\omega$  и времени в случае воздействия: *a* — одномодового поля с учетом фазовой самомодуляции и *б* — двухмодового поля с учетом перекрестной фазовой модуляции

Обнаружен эффект переноса фотонной статистики и неклассических свойств от полевой подсистемы к твердотельной и продемонстрировано формирование неклассических когерентных или сжатых экситонных состояний электронной подсистемы, что является основой для разработки квантовых информационных технологий. Также было рассмотрено воздействие поля в состоянии перепутанного двухмодового сжатого вакуума и продемонстрировано, что наличие корреляций фотонов стимулируют процессы поглощения определенного числа квантов из каждой полевой моды. Обнаружен эффект усиления четных каналов экситонного возбуждения за счет корреляций фотонов в полевых модах друг с другом.

### Список литературы

1. Kasprzak J., Reitzenstein S., Muljarov E.A. et al. Up on the Jaynes-Cummings ladder of a quantum dot/microcavity system // Nature Materials. 2010. Vol. 9. P. 304–308.
2. Sete E.A., Eleuch H. Interaction of a quantum well with squeezed light: Quantum statistical properties // Phys. Rev. A. 2010. Vol. 82. P. 04310.