



# Лаборатория нелинейной оптики

## СОТРУДНИКИ ЛАБОРАТОРИИ

Самарцев В.В. (г.н.с.)  
Калачев А.А. (в.н.с.)  
Лисин В.Н. (с.н.с.)  
Шахмуратов Р.Н. (в.н.с.)  
Митрофанова Т.Г. (н.с.)  
Романов В.С. (н.с.)  
Калинкин А.А. (с.н.с.)  
Петрушкин С.В. (с.н.с.)  
Шкаликов А.В. (с.н.с.)  
Кельина Д.Д. (н.с.)  
Латыпов И.З. (н.с.)  
Шегеда А.М. (с.н.с.)  
Шухин А.А. (м.н.с.)  
Турайханов Д.А. (м.н.с.)  
Акатьев Д.О. (м.н.с.)



## ПУБЛИКАЦИИ

1. Samartsev V.V. Correlated photons and their application. CISP: Cambridge (UK), 2015 – 182 p.
2. Shemelev A.G., Leontiev A.V., Nikiforov V.G., Ivanin K.V., Lobkov V.S., Khasanov O.Kh., Samartsev V.V. Ultrafast below-band-gap laser pulse induced relaxations in CdS crystal // Journal of Physics: Conference Series 2015, vol. 613, p. 012014 (4pp).
3. Samartsev V.V., Leontiev A.V., Mitrofanova T.G. Femtosecond correlated photon echo in CdS crystal under two-photon excitation by two pairs of crossed laser beams // Laser Physics 2015, vol. 25, p.075202 (4 pp)
4. Nikiforov V.G., Lobkov V.S., Samartsev V.V. Nonresonant double-pulse selective spectroscopy of interaction induced response in liquids through an optically-heterodyne-detected optical-Kerr-effect // Laser Physics 2015, vol. 25, p.075701 (6pp)
5. Lisin V.N., Shegeda A.M., Samartsev V.V. New possibilities of photon echo: determination of ground and excited states g-factors applying a weak magnetic field pulse // Journal of Physics: Conference Series 2015, vol. 613, p. 012013 (5pp).
6. Вагизов Ф. Г., Шахмуратов Р. Н., Нурмехамитов Р. Н., Кочаровская О. А. Когерентные методы управления мессбауэровскими фотонами // Известия РАН. Серия Физическая, 2015, том 79, №8, С.1070-1073.
7. Shakhmuratov R. N., Vagizov F. G., Antonov V. A., Radeonychev Y. V., Scully M. O., Kocharovskaya O. Transformation of a single-photon field into bunches of pulses // Phys. Rev. A 2015, vol. 92, p. 023836 (15 pp).
8. Radeonychev Y. V., Antonov V. A., Vagizov F. G., Shakhmuratov R. N., Kocharovskaya O. Conversion of recoilless gamma radiation into a periodic sequence of short intense pulses in a set of several sequentially placed resonant absorbers // Phys. Rev. A 2015, vol. 92, p. 043808 (13 pp).
9. F. Vagizov, R. Shakhmuratov, E. Sadykov. Application of the Mössbauer effect to the study of opto-acoustic phenomena. Phys. Rev. A V. 92, No. 2, P. 023836 (1-15) (2015).
10. R.A. Akhmedzhanov, L.A. Gushchin, A.A. Kalachev, A.G. Litvak, D.A. Sobgayda, I.V. Zelensky. Single-qubit gates for ensemble qubits via off-resonant Raman interaction // Laser Physics, V.25, No.5, 055202(1-5) (2015)
11. R.A. Akhmedzhanov, L.A. Gushchin, A.A. Kalachev, S.L. Korableva, D.A. Sobgayda, I.V. Zelensky. Atomic frequency comb memory in an isotopically pure  $^{143}\text{Nd}^{3+}:\text{Y}^7\text{LiF}_4$  crystal // Laser Physics Letters, V.13, No.1, 015202(1-5) (2016)
12. A.A. Shukhin, A.A. Kalachev // Spontaneous Four-Wave Mixing in an Irregular Nanofiber // EPJ Web of Conf. V. 103, 06009 (2015)
13. A. A. Shukhin, D. O. Akatiev, I. Z. Latypov, A. V. Shkalikov and A. A. Kalachev // Simulating single-photon sources based on backward-wave spontaneous parametric down-conversion in a periodically poled KTP waveguide // J. Phys.: Conf. Ser. V. 613 012015, (2015)
14. I.Z. Latypov, A.V. Shkalikov, A.A. Kalachev. Optimization of a heralded single-photon source with spatial and temporal multiplexing // J. Phys.: Conf. Ser. 613, 012009(1-6) (2015)

## ВАЖНЕЙШИЙ РЕЗУЛЬТАТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОТОННОГО ЭХО. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕЕМАНОВСКИХ И ПСЕВДО-ШТАРКОВСКИХ РАСЩЕПЛЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПО ФОРМЕ ЭХО-ОТКЛИКА.

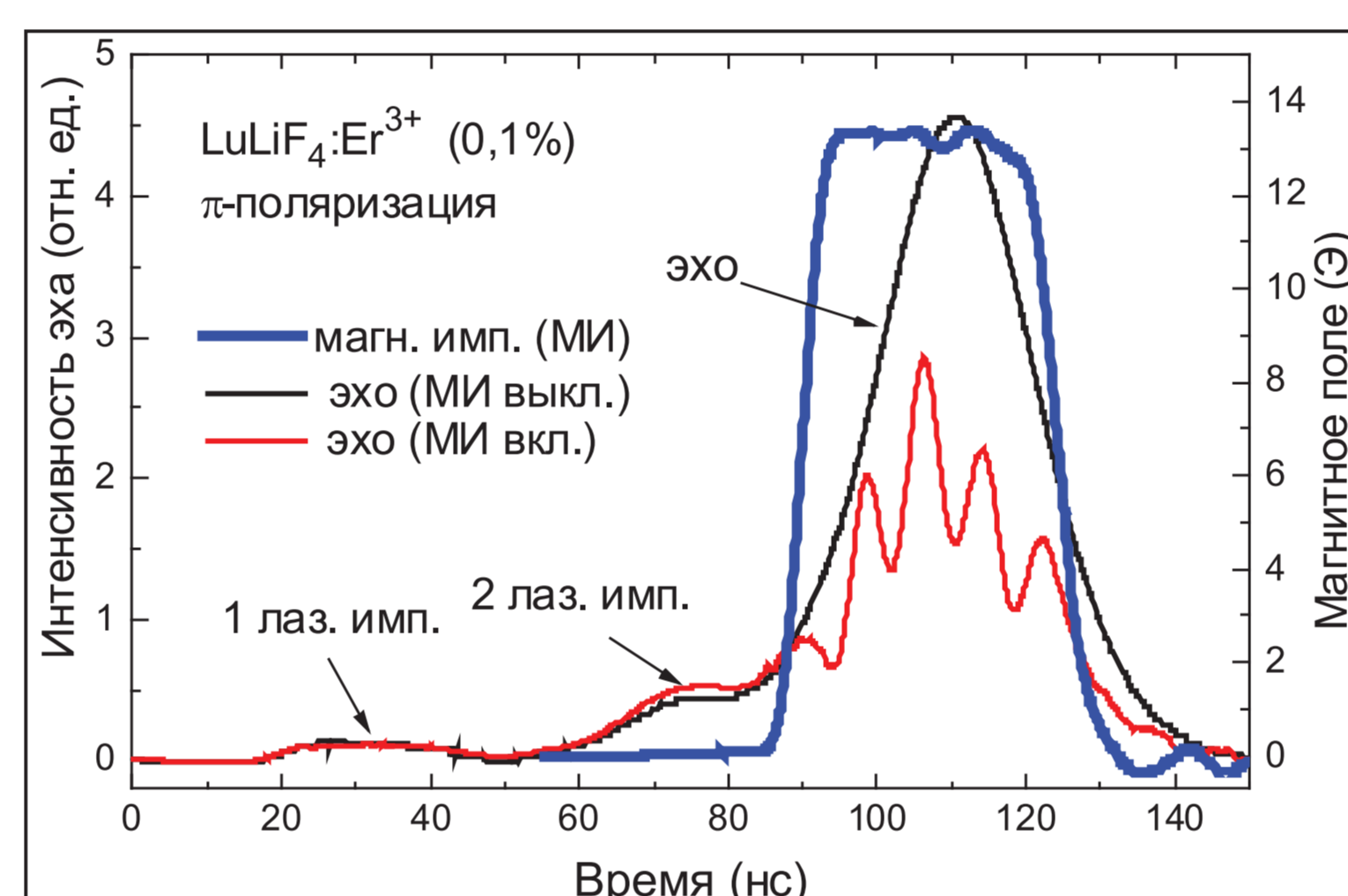
#### Аннотация:

Предложен и реализован новый метод спектроскопии для измерения зеемановских и псевдо-штарковских расщеплений частот оптических переходов. При этом величина измеряемых расщеплений на несколько порядков меньше неоднородной ширины линии и спектральной ширины лазерного импульса.

Показано, что если во время излучения эхо-отклика подействовать на систему импульсом магнитного или электрического поля, то временная форма эха модулируется. Частота модуляции, с хорошей точностью совпадает с величиной зеемановского или псевдо-штарковского расщепления в поле, равном амплитуде поля импульса.

Таким способом были измерены зеемановские расщепления линии  $^4F_{9/2} \rightarrow ^4F_{15/2}$  примесного иона  $\text{Er}^{3+}$  в двух кристаллических матрицах  $\text{LuLiF}_4$  и  $\text{YLiF}_4$  и псевдо-штарковское расщепление  $R_1$ -линии иона  $\text{Cr}^{3+}$  в рубине.

Ответственные исполнители: В.Н. Лисин, А.М. Шегеда, В.В. Самарцев



#### Публикации:

1. Lisin V.N., Shegeda A.M. Modulation of the Shape of the Photon Echo Pulse by a Pulsed Magnetic Field: Zeeman Splitting in  $\text{LuLiF}_4:\text{Er}^{3+}$  and  $\text{YLiF}_4:\text{Er}^{3+}$ . JETP Letters, **96**, 298–302(2012)
2. Lisin V.N., Shegeda A.M., Samartsev V.V. The application of the weak magnetic field pulse to measure g-factors of ground and excited optical states by a photon echo method. Laser Phys. Lett. **12**, 025701(6pp) (2015).
3. Lisin V.N., Shegeda A.M., Samartsev V.V. Definition of Shifts of Optical Transitions Frequencies due to Pulse Perturbation Action by the Photon Echo Signal Form. EPJ Web of Conferences 103, 07004 (2015)

## УЧАСТИЕ В ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

1. XIX международная молодежная научная школа "Когерентная оптика и оптическая спектроскопия" (5-7 октября 2015 г., Казань, Россия). Организаторы - Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского и Казанский Федеральный (Приволжский) университет
2. XII Международные чтения по квантовой оптике (11-16 августа 2015 г., Москва - Троицк, Россия). Организаторы - Институт спектроскопии РАН (Троицк), Московский педагогический государственный университет (Москва) и Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского

## РАБОТА ПО ЦЕЛЕВЫМ ПРОГРАММАМ

**Проект РФФИ № 14-02-90000-Бел а** «Фемтосекундная многоимпульсная селективная спектроскопия диссипативной динамики колебательно-вращательных состояний молекул жидкости, а также электронных и спиновых состояний в полупроводниковых наноструктурах», рук. В.В. Самарцев

**Проект РФФИ № 14-02-00041-а** «Фемтосекундная когерентная спектроскопия полупроводников и гетероструктур с участием коррелированных фотонов, рожденных при двухквантовом возбуждении переходных процессов скрещенными лазерными пучками», рук. В.В. Самарцев

**Проект РФФИ № 13-0201090-а** «Фундаментальные проблемы создания однофотонных источников на основе спонтанного параметрического рассеяния света», рук. А.В. Шкаликов

**Проект РНФ № 14-12-00806** «Разработка базовых устройств действующей оптической квантовой связи», рук. А.А. Калачев

**Программа ОФН РАН «Фундаментальная оптическая спектроскопия и ее приложения»** проект «Когерентная оптическая спектроскопия примесных кристаллов, полимеров, полупроводников, наноструктур и жидкостей», рук. В.В. Самарцев

**Программа Президиума РАН «Актуальные проблемы физики низких температур»** проект «Квантовая информатика на основе оптических переходных и коллективных процессов при низких температурах», рук. В.В. Самарцев

**Проект РФФИ № 15-02-05478** «Оптическая квантовая память и однофотонные источники на основе многоатомных систем и нановолокон», рук. А.А. Калачев

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИИ ЗА 2015 ГОД

- Развита основы фемтосекундной когерентной спектроскопии полупроводников и полупроводниковых гетероструктур. Результаты исследований опубликованы в монографии В.В. Самарцева "Correlated photons and their applications". CISP: Cambridge (UK), 2015.
- Предложена и теоретически проанализирована техника двухимпульсного возбуждения для проведения селективных измерений в жидкостях. В основу положен метод когерентного контроля позволяющий манипулировать амплитудами откликов. Ключевыми параметрами двухимпульсного возбуждения являлись длительность импульса, задержка между импульсами и соотношение амплитуд возбуждающих импульсов. Изменение этих параметров меняет спектр функции возбуждения, что позволяет получить интересующий нас сценарий возбуждения. С помощью численного моделирования двух различных сценариев для ацетонитрила проанализированы принципы организации двухимпульсного возбуждения, при котором ориентационные и внутримолекулярные отклики не будут давать вклад в оптический сигнал Керра. Результаты моделирования ясно показали, что техника двухимпульсного возбуждения является полезным инструментом не только для селективного измерения интересующих молекулярных откликов, но и для селективной спектроскопии откликов, вызванных взаимодействиями молекул в жидкостях.
- Продолжено теоретическое и экспериментальное исследование влияния импульсного магнитного поля на поведение фотонного эха в кристалле  $\text{YLiF}_4:\text{Er}^{3+}$  и  $\text{LuLiF}_4:\text{Er}^{3+}$ . Показана возможность определения с высокой точностью g-факторов основного и возбужденного состояний.
- Предложен алгоритм передачи информации с помощью случайного потока одиночных фотонов. В качестве демонстрации работоспособности алгоритма выполнен эксперимент с гамма квантами, которые испускаются источником, содержащим радиоактивные ядра кобальта 57. В эксперименте передано слово KFU, которое состоит из 21 бита информации: 3 байта в семибитовой кодировке ASCII кодов, что соответствует последовательности импульсов 1001011/1000110/1010101 (слеши поставлены для разбивания на семибитовые байты, где длительности импульсов и темных окон отмечены цифрами). Работа выполнена совместно с Казанским федеральным университетом, сокращенное название которого на английском языке, было передано с помощью случайного потока одиночных фотонов. Предлагаемый метод открывает принципиально новые возможности для секретной передачи информации.
- Развита теория трёхфотонного спонтанного параметрического рассеяния в сферических микрорезонаторах с модами шепчущей галереи. Сделана оценка скорости генерации коррелированных трёхфотонных состояний (трифотонов) в кварцевом микрорезонаторе при типичных значениях экспериментальных параметров. Показано, что рассматриваемый режим параметрического рассеяния можно использовать для условного приготовления узкополосных бифотонных состояний со скоростью порядка единиц герц на 1 мВт мощности накачки.
- Развита теория и экспериментально продемонстрирован метод преобразования однофотонного излучения в серию импульсов, состоящую из групп, которые разделены темными окнами. Метод основан на фазовой модуляции излучения, которое пропускается через резонансную среду. Найден оптимальные условия, когда группа состоит из двух, трёх и более импульсов. Предложено использовать метод генерации групп импульсов для формирования квантовых битов с числом состояний больше двух, то есть, так называемых, кубитов.
- Развита теория преобразования однофотонного излучения в частотную гребенку и фильтрации определенных компонент гребенки с помощью слоистого поглотителя. Найден условия при которых однофотонное излучение трансформируется в серию коротких импульсов большой амплитуды. Эти условия определяют толщину и резонансную частоту каждого слоя поглотителя, при которых из гребенчатого спектра излучения удаляются вполне определенные компоненты, что и приводит к интерференции оставшихся спектральных компонент и формированию коротких импульсов.
- Предложен и экспериментально реализован метод измерения частоты и амплитуды акустических колебаний тонких пластин с помощью гамма излучения. Акустические колебания пластины вызывались с помощью коротких импульсов Nd:YAG лазера. Пластина содержала мессбауэровские ядра  $^{57}\text{Fe}$ . Резонансное для этих ядер гамма излучение пропусклось через тонкую пластину и по определенной методике измерялась осцилляция интенсивности излучения. Эти осцилляции содержат информацию об амплитуде и частоте колебаний пластины. Разработанный метод обработки экспериментальных данных позволил измерить частоту и амплитуду колебаний с высокой точностью. В частности, было найдено, что амплитуда колебаний пластины равна 2.2 Ангстрема.
- Предложена схема выполнения однокубитовых операций, основанная на рамановском взаимодействии лазерных импульсов с ансамблевыми кубитами, которая позволяет существенно снизить влияние неоднородного уширения оптических переходов и ширины лазерного излучения на точность выполнения операций.
- Реализован протокол оптической квантовой памяти на основе атомной частотной гребенки в изотопически чистом кристалле  $\text{Y}^7\text{LiF}_4$ , легированном ионами  $\text{Nd}^{3+}$  изотопа Nd-143. Достигнута эффективность 13%. Поставлены эксперименты по спектральному выжиганию провалов, по результатам которых определены величины однородного уширения оптических переходов между различными сверхтонкими подуровнями основного и возбужденного электронного состояний. На некоторых переходах обнаружена тонкая структура спектральных провалов, соответствующая суперсверхтонкому взаимодействию примесных ионов в возбужденном состоянии с окружающими ионами фтора. Реализован протокол квантовой памяти на основе атомной частотной гребенки с двойным периодом по частоте.

## МОНОГРАФИЯ

1. Samartsev V.V. Correlated photons and their applications. CISP: Cambridge (UK), 2015 – 182 p.

