

Пикосекундные спектрально ограниченные импульсы мёссбауэровского гамма излучения

Фундаментальные исследования в области лазерной физики привели к прорывам во многих направлениях научных исследований и революционному развитию технологий. В настоящее время надежды на подобные преобразования связывают с освоением коротковолновой части электромагнитного спектра – жесткого рентгеновского или мягкого гамма диапазона (излучение с длиной волны от долей до нескольких десятков ангстрем, производимое ядрами атомов, называют обычно гамма-излучением, а производимое электронами – рентгеновским). Основными источниками излучения в этом диапазоне являются синхротроны (лазеры на свободных электронах), лазерная плазма и мёссбауэровские радиоактивные изотопы. Главными достоинствами первых двух является малая длительность получаемых импульсов, последних – уникально высокая степень монохроматичности спонтанного излучения и возможность испускания одиночных изолированных друг от друга фотонов. Например, фотоны с энергией 14,4 кэВ, испускаемые без отдачи (мёссбауэровское излучение) при радиоактивном распаде ядер кобальта-57, имеют спектральную ширину ~ 1 МГц, что составляет $\sim 3 \cdot 10^{-13}$ от несущей частоты, а длина когерентности фотона превышает 40 метров. Помимо глубокой фундаментальной природы взаимодействия гамма/рентгеновского излучения с различными средами, оно находит множество применений в физике, химии, биологии, медицине, материаловедении, геологии, минералогии, археологии, технологиях, а также в экологических исследованиях и исследованиях культурного наследия. Экстремально малые длины волн гамма/рентгеновских фотонов позволяют изучать структуру вещества на атомном и субатомном уровне. Высокомонохроматичное гамма-излучение от мёссбауэровских источников (излучение без отдачи) используется для высокоточных измерений локальных электрических и магнитных полей, энергетической структуры и сверхтонких взаимодействий в твердых телах и на их поверхности, в наноструктурах, химических и биологических объектах.

Одно из направлений развития мёссбауэровской гамма-оптики связано с надеждой получения гамма-излучения в виде периодических последовательностей ультракоротких импульсов. Такие последовательности импульсов необходимы для диагностики в реальном времени протекающих в веществах структурных изменений. Задачи квантово-оптических технологий диктуют необходимость получения одиночных гамма-фотонов с заданными управляемыми спектрально-временными параметрами. В настоящее время происходит зарождение нового направления исследований, на стыке мёссбауэровской физики, когерентной оптики и квантовооптической информатики, которое можно назвать квантовой гамма-фотоникой. В этом направлении уже достигнут целый ряд впечатляющих результатов, один из которых получен с участием сотрудников ИПФ РАН [1].

В частности, предложен и экспериментально реализован метод управления волновой формой одиночных фотонов мёссбауэровского гамма-излучения, а также квазимонохроматическое гамма-излучение преобразовано в периодическую последовательность коротких импульсов [1]. В выполненных экспериментах использовались фотоны с энергией 14,4 кэВ, полученные в результате радиоактивного распада ядер кобальта-57 при комнатной температуре. Фотоны пропускались через вибрирующую вдоль направления распространения излучения с ультразвуковой частотой фольгу нержавеющей стали толщиной 25 мкм, содержащую ядра железа-57 в природной концентрации. В результате резонансного взаимодействия фотонов с ядрами атомов вещества вибрирующей фольги формировались определенные временные формы одиночных фотонов, в частности, фотоны в виде периодической затухающей во времени последовательности импульсов (Рис.1а), двухимпульсная волновая форма (Рис.1б) и периодическая последовательность импульсов мёссбауэровского гамма-излучения (Рис.1в). Наименьшая длительность импульсов равнялась 18 нс, их пиковая интенсивность была меньше интенсивности

излучения источника в направлении наблюдения вследствие неоптимального сочетания значений параметров.

Нами предложено существенное усовершенствование проведенных в [1] экспериментов, позволяющее на три порядка укоротить полученные в [1] импульсы, доведя их до нескольких пикосекунд, и на порядок увеличить их пиковую интенсивность [2]. Эти результаты могут открыть новые возможности для высокоточной и высокочувствительной диагностики различных веществ, а также наблюдения за протеканием во времени физических, химических и биологических процессов в них.

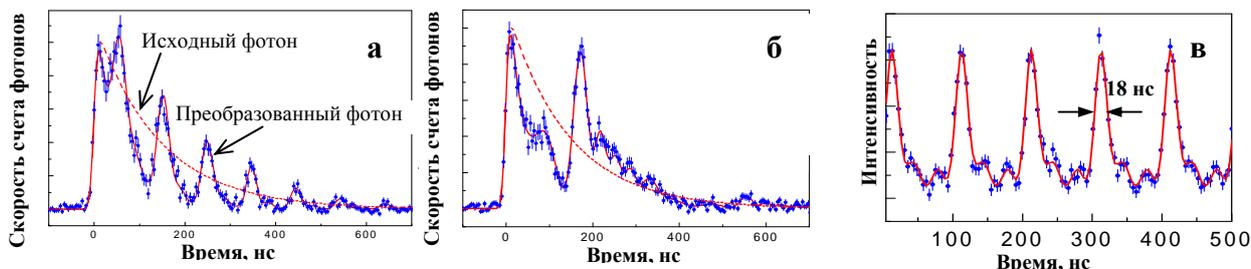


Рис.1. Волновые формы исходного и преобразованного одиночного гамма-фотона (а, б) и периодическая последовательность импульсов мёссбаэровского гамма-излучения (в). Скорость излучателя по направлению к поглотителю, частота и амплитуда вибрации поглотителя равны, соответственно, 0,87 мм/с, 10,2 МГц и 0,25 Å для графика (а); 1,13 мм/с, 2,6 МГц и 0,9 Å для графика (б); 0,87 мм/с, 10,2 МГц и 0,27 Å для графика (в).

1. F. Vagizov, V. Antonov, Y.V. Radeonychev, R.N. Shakhmuratov, and O. Kocharovskaya, Coherent control of the waveforms of recoilless γ -photons, *Nature*, **508**, 80-83 (2014).
2. Y.V. Radeonychev, V.A. Antonov, F.G. Vagizov, R. N. Shakhmuratov, and Olga Kocharovskaya, Conversion of recoilless γ radiation into a periodic sequence of short intense pulses in a set of several sequentially placed resonant absorbers, *Physical Review A*. 92, 043808 (2015). ОПУБЛИКОВАНО В РУБРИКЕ «РЕДАКТОРЫ РЕКОМЕНДУЮТ».

*Евгений Витальевич Радионычев, к.ф.-м.н,
с.н.с отдела нанооптики и
высокочувствительных
оптических измерений*