

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ УГЛОВОГО И ЧАСТОТНО-УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ПЛАЗМЫ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ФОКУСИРОВКЕ ДВУХЧАСТОТНЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

*П. А. Чижев, А. А. Ушаков, В. В. Букин, В. А. Андреева, Д. Е. Шипило, Н. А. Панов,
О. Г. Косарева, С. В. Гарнов, А. Б. Савельев-Трофимов*

Институт общей физики Российской академии наук

Введение

Исследование процессов генерации терагерцового (ТГц) излучения при взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов со средой является одним из интенсивно развивающихся направлений современной физики. Одним из распространенных методов создания ТГц-излучения с помощью фемтосекундных лазеров, является создание плазмы в газах при фокусировке двухчастотного излучения [1]. Возникновение плазмы при различных параметрах фокусировки приводит к сильному изменению в параметрах плазмы, что может приводить к сложному частотно-угловому распределению генерируемого в ней ТГц-излучения. Работа посвящена экспериментальному исследованию углового и частотно-углового распределений ТГц-излучения при фокусировке фемтосекундных лазерных импульсов.

Экспериментальная установка

В работе использовалась лазерная система на основе титан-сапфира Coherent Elite Pro (775 нм, 2,7 мДж, 150 фс, диаметр пятна 12 мм ($1/e^2$), 1 кГц). Излучение лазера частично преобразовывалось во вторую гармонику в кристалле ВВО (I-тип, 200 мкм). Затем поляризации импульсов на основной и удвоенной частоте совмещались с помощью фазовой пластинки, которая была полуволновой для основной частоты и волновой для удвоенной. Для компенсации групповой задержки между излучением на основной и второй гармониках в схему устанавливалась пластинка из кальцита, наклон которой позволял регулировать временную задержку между импульсами. Затем двухцветное излучение фокусировалось параболическим зеркалом с фокусным расстоянием 20 см, создавая в атмосферном воздухе плазму, которая служила источником терагерцового излучения.

Для регистрации углового распределения энергии ТГц-излучения использовалась ячейка Голя (Tydex GC-1P), установленная на расстоянии 25 см от плазмы. Перед детектором ставилась диафрагма диаметром ~ 7 мм и тефлоновая пластинка по нормали к оси наблюдения, для устранения энергетического вклада от оптического излучения. Угловое распределение измерялось с шагом $2,5^\circ$ в диапазоне углов от -20° до 30° , где за нулевой угол принималось направление распространения излучения второй гармоники после плазмы. Для получения сигнала с ячейки Голя применялся синхронный детектор (Stanford research systems SR830), для этого лазерное (и, соответственно, терагерцовое) излучение модулировалось с частотой 20 Гц.

Для регистрации частотно-углового распределения применялся метод электрооптического детектирования в кристалле ZnTe (вырез $\langle 110 \rangle$, $10 \times 10 \times 0,5$ мм). Для измерения поля отщеплялся небольшой по энергии зондирующий лазерный импульс на основной гармонике, который проходил через переменную линию задержки, совмещался с ТГц-пучком на полупрозрачной пленке и совместно с ним посылался в детектирующий кристалл. Диаметр зондирующего пучка составлял ~ 1 мм. Для измерения деполяризации, наведенной в кристалле, применялся балансный детектор из двух фотодиодов, четверть волновой пластинки и призмы Глана. Углы наблюдения были теми же, что и в случае с измерениями ячейкой Голя. Для сопоставления ТГц-поля в разных точках измерения производилась нормировка на сигнал с фотодиода (при закрытом втором).

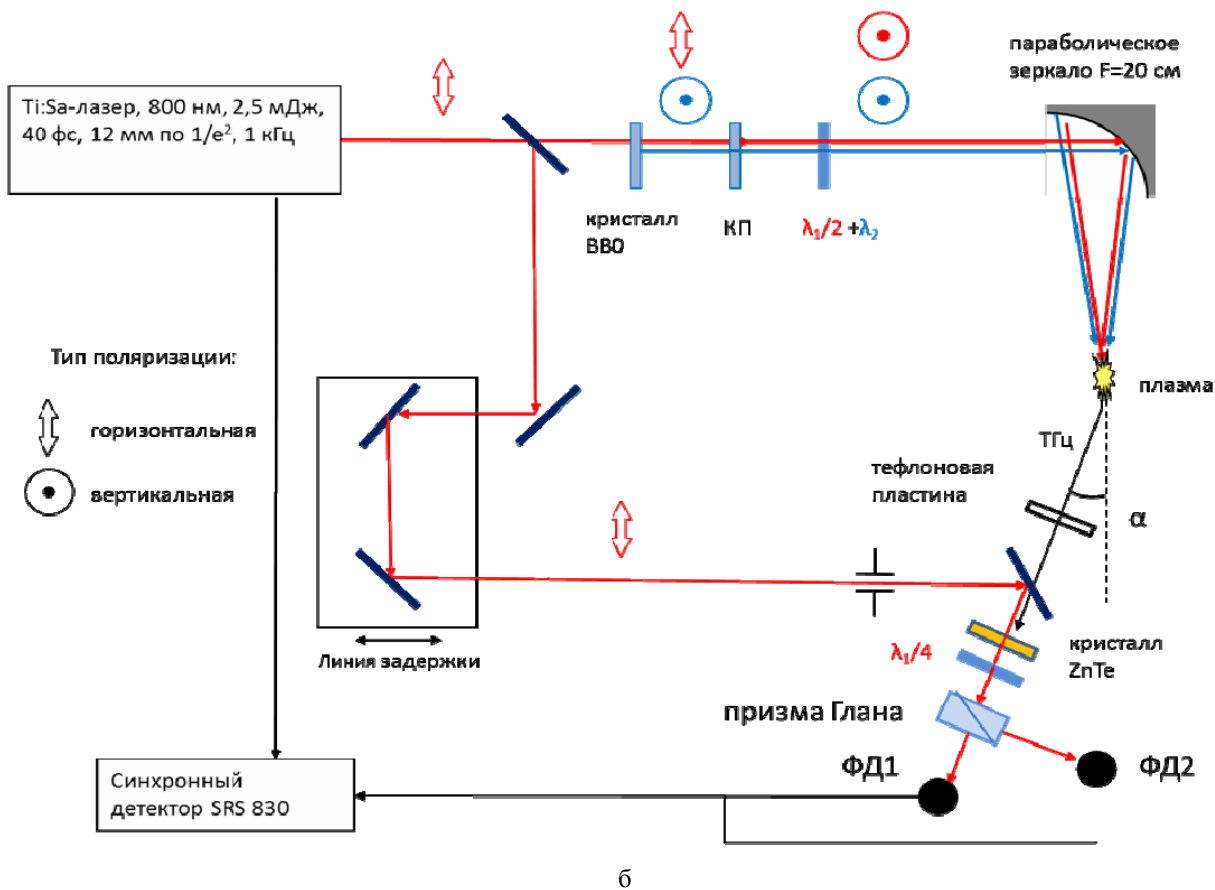
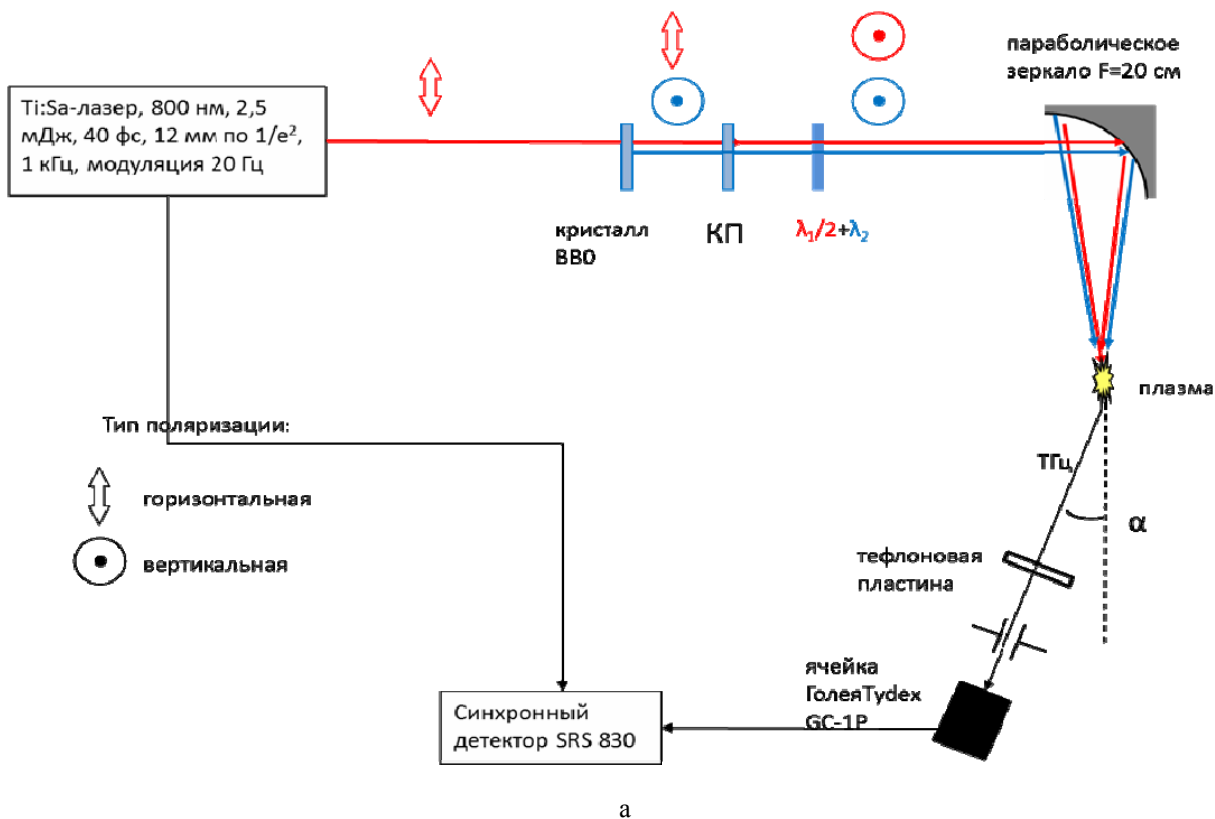


Рис. 1. Схемы экспериментальных установок. а) для измерения углового распределения энергии ТГц-излучения; б) для измерения частотно-углового распределения ТГц-излучения

Результаты

В результате проведенных исследований была получена угловая зависимость энергии ТГц-излучения (рис. 2). Можно выделить участок вблизи оси распространения лазерного излучения, где в довольно широком диапазоне углов наблюдается столбобразное распределение энергии излучения.

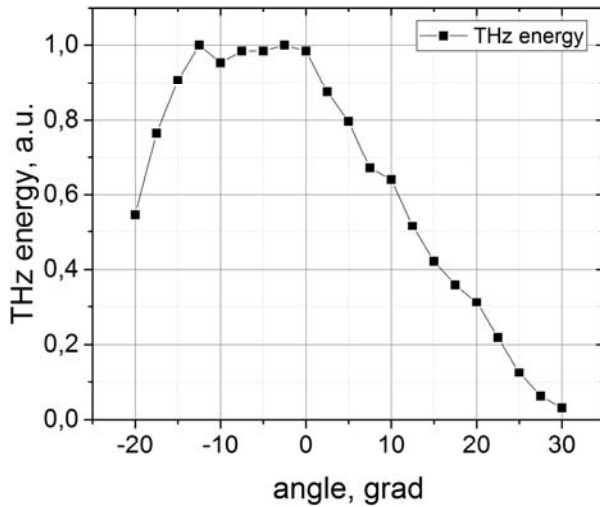


Рис. 2. Угловая зависимость энергии ТГц-излучения

Также экспериментально измерены временные формы электрического поля импульсного терагерцового излучения, распространяющегося под разными углами (рис. 3). При обработке этих временных форм были получены частотно-угловые зависимости (рис. 4). Проведено сравнение с расчетными зависимостями, полученными в модели UPPE (Unidirectional pulse propagation equation) – однонаправленного распространения импульса (рис. 5) [2]. Наблюдается качественное совпадение с экспериментальной частотно-угловой зависимостью.

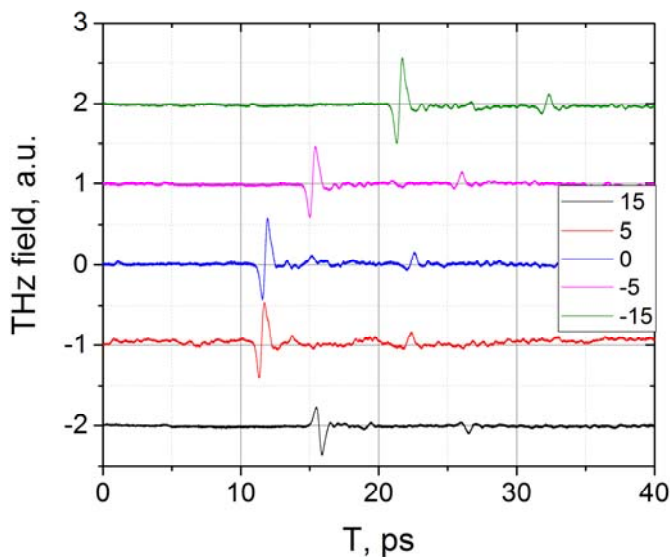


Рис. 3. Временные формы поля терагерцового импульса

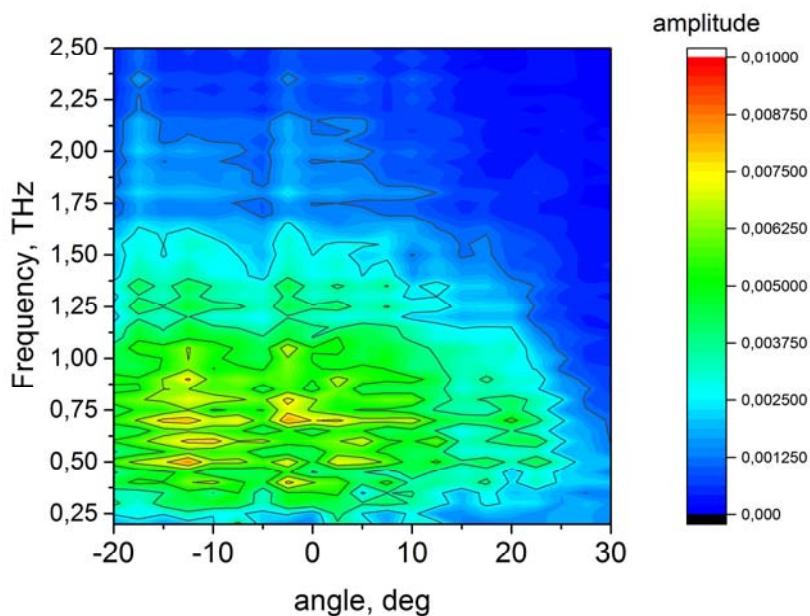


Рис. 4. Экспериментальная частотно-угловая зависимость ТГц-излучения

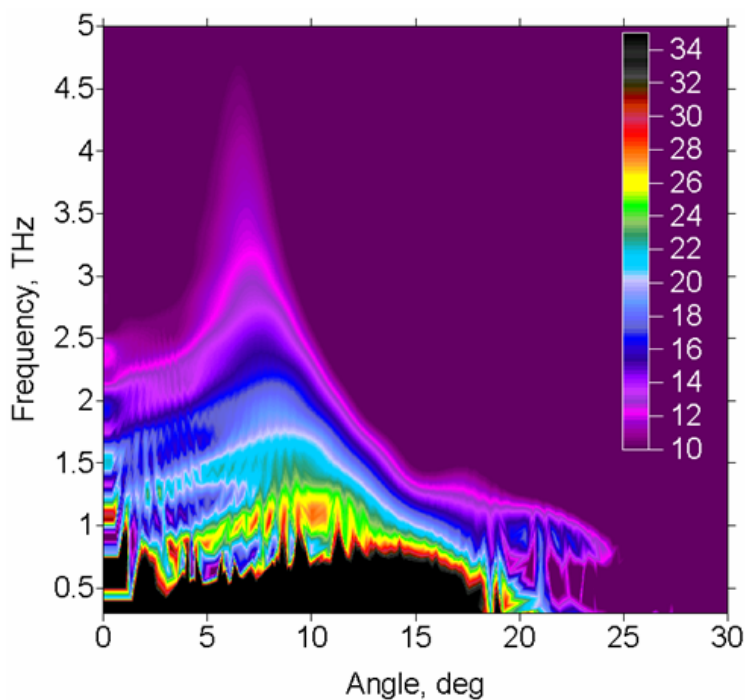


Рис. 5. Расчетная частотно-угловая зависимость ТГц-излучения

Список литературы

1. Cook D. J., Hochstrasser R. M. // Opt. Lett., 2000. 25 (16), p. 1210–1212.
2. Andreeva V. A., Kosareva O. G., Panov N. A., Shipilo D. E., Solyankin P. M., Esaulkov M. N., González de Alaiza Martínez P., Shkurinov A. P., Makarov V. A., Bergé L., Chin S. L. // Phys. Rev. Lett. 116, 063902.