

## ОТЗЫВ

научного руководителя, д.ф.-м.н., члена-корреспондента РАН Шкуринова Александра Павловича на диссертационную работу Синько Антона Сергеевича «Генерация и взаимодействие терагерцового излучения с молекулярными кристаллами», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика».

Диссертационная работа Антона Сергеевича Синько — это существенная веха в развитии нелинейной оптики кристаллических сред применительно к терагерцовому диапазону частот. Терагерцовый диапазон частот — это сложный диапазон для преобразования лазерного излучения фемтосекундной длительности. Большая разница частот между видимым и терагерцовым частотными диапазонами не позволяет получать высокие коэффициенты преобразования. Кроме того, существующие сейчас различные методики, как дипольные антенны, так и нелинейные кристаллы не обеспечивают еще и высокой спектральной яркости импульсного ТГц излучения и поэтому для целей спектроскопии, особенно высокого разрешения, они подходят мало, по необходимости отсутствия альтернатив. Постановка задачи Антона Сергеевича была поисковой и формулировалась таким образом: исследовать новый тип кристаллических сред, молекулярные кристаллы, в качестве источника ТГц излучения при преобразовании фемтосекундного излучения ближнего ИК диапазона в ТГц диапазон частот. Определенности в результатах не было и, более того, начальные ожидания вообще не предусматривали узкополосного излучения в ТГц диапазоне частот. Для уже описанных и применяемых в лабораториях молекулярных кристаллов характер излучения имеет вид широкополосного излучения аналогичного другим источникам излучения. То, что получил в своих экспериментах Антон Сергеевич имеет, несомненно, прорывной характер: он получил узкополосное перестраиваемое по частоте терагерцовое излучения в самом неудобном диапазоне частот, который и носит название «терагерцового провала», что понятно, - нет в этом диапазоне нормальных источников излучения.

Немного о соискателе искомой степени кандидата физико-математических наук: Антон Сергеевич Синько окончил физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова в 2018 г. с отличием. В период с 2018 по 2022 г. он являлся аспирантом физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. За время обучения в аспирантуре А.С. Синько успешно выполнил учебный план и сдал экзамены кандидатского минимума.

Не опасаясь повторения, могу описать его работу следующим образом: диссертационная работа А.С.Синько на тему «Генерация и взаимодействие терагерцового излучения с молекулярными кристаллами» посвящена исследованию различных свойств новых классов нелинейно-оптических молекулярных кристаллов в терагерцовом диапазоне частот. Эти свойства тесно привязаны к функциональному назначению кристаллических материалов — генерации узкополосного терагерцового излучения перестраиваемого по частоте в широком частотном диапазоне. В диссертационной работе представлены результаты экспериментальных исследований с помощью различных методик, аддитивно характеризующих кристалл: комбинационное рассеяние света, поглощение в видимом и инфракрасном диапазонах частот и процесса генерации узкополосного терагерцового излучения в молекулярных кристаллах при возбуждении фемтосекундными лазерными импульсами ближнего инфракрасного диапазона длин волн. Актуальность применения

молекулярных кристаллов в нелинейно-оптических приложениях давно известна и обуславливается высокими показателями нелинейности по сравнению с ионными кристаллами, а также огромным разнообразием путей конструирования молекулярной кристаллической решетки. Однако слабо изученными являются феномены, связанные с резонансным взаимодействием интенсивного импульсного лазерного излучения сверхкороткой длительности с колебательной подсистемой решетки подобных кристаллов. Данная тема в полной мере раскрывается в представленной работе А.С. Синько.

В оригинальных разделах диссертационной работы описываются результаты исследования свойств ряда выбранных на основе теоретического анализа литературных данных молекулярных кристаллов, среди которых выделяется новый кристалл гидрофосфит гуанилмочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CNHCO}(\text{NH}_2)\text{H}_2\text{PO}_3$  (GUHP), а также ранее не подвергавшиеся исследованию в данной теме кристаллы фталевой кислоты  $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}\cdot\text{COONa}$  (NaAP),  $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}\cdot\text{COOK}$  (KAP),  $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}\cdot\text{COONH}_4$  (AAP),  $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}\cdot\text{COORb}$  (RbAP) и  $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}\cdot\text{COOCs}$  (CsAP) и кристалл сахарозы ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ). Впервые в выбранных кристаллах наблюдалась генерация узкополосного ТГц излучения, обусловленная возбуждением колебательной подсистемы молекулярной решетки в результате одновременно нелинейно-оптических процессов второго и третьего порядка. Также на низких температурах впервые был продемонстрирован баллистический механизм возбуждения генерации ТГц излучения, в результате которого длительность рождаемого ТГц импульса превышает на порядки время самого процесса возбуждения. Проведено сравнение линейных и генерационных спектральных свойств для выбранной группы кристаллов, на основании экспериментальных данных предложен механизм генерации излучения.

За время работы над диссертацией А.С. Синько активно участвовал в научной жизни лаборатории, разработал несколько схем когерентных импульсных ТГц спектрометров с приставками криогенного охлаждения, контроля атмосферы тракта распространения луча, а также схемы «накачка-зондирование». А.С. Синько собирал и настраивал экспериментальные установки для проведения описанных исследований, проводил эксперимент. Для повышения достоверности получаемые экспериментальные данные теоретически анализировались, по необходимости проводились численные расчёты на основе простейших моделей.

Результаты диссертационной работы были представлены на многих международных конференциях и опубликованы в ряде ведущих зарубежных научных журналов (Scientific Reports, IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, MDPI Electronics). В каждой публикуемой работе А.С. Синько играл решающую роль как в реализации экспериментов, так и в написании статьи.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Все научные статьи в которых описаны результаты работы написаны соискателем самостоятельно, за время работы над диссертацией он применял самостоятельно разработанные методики проведения экспериментов, предлагал оригинальные, творческие пути решения возникающих экспериментальных задач. Оценивая в целом диссертационную работу Синько А.С., считаю, что её результаты достоверны, она выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет требованиям Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Рекомендую диссертационную работу «Генерация и взаимодействие терагерцового излучения с молекулярными кристаллами» Синько Антона Сергеевича к защите на соискание ученой степени

кандидата наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика», научное направление – физико-математические науки.

Научный руководитель:

профессор кафедры общей физики и волновых процессов

физического факультета ФГБОУ ВО

«Московский государственный

университет имени М.В. Ломоносова»

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН

А.П. Шкуринов

Дата составления отзыва: 10 сентября 2023 г.

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 62

Телефон: +74959391106

E-mail: [ashkurinov@physics.msu.ru](mailto:ashkurinov@physics.msu.ru)

Подпись Шкуринова Александра Павловича УДОСТОВЕРЯЮ:

Ученый секретарь Ученого совета

физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,

доктор физико-математических наук, профессор

В.А. Караваев