

УДК 535-14

ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО НЕЛИНЕЙНОГО ОТКЛИКА ИЗОТРОПНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕД ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ЭФФЕКТА КЕРРА

Гусельников М.С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – профессор, доктор физико-математических наук Козлов С.А.
(Университет ИТМО)

Введение. Недавнее открытие источников сверхмощного импульсного терагерцового (ТГц) излучения привлекло внимание огромного числа исследователей к изучению особенностей нелинейных явлений в данном спектральном диапазоне. В частности, развитие терагерцовых технологий привело к появлению новой модификации оптического эффекта Керра, получившей название терагерцового эффекта Керра (ТЭК) [1]. В данной методике в качестве импульса накачки используется высокоинтенсивное ТГц излучение, а в качестве зондирующего импульса – слабое оптическое излучение. Появление ТЭК, в частности, позволило изучать динамику межмолекулярных взаимодействий в жидкостях в пикосекундном временном диапазоне. В 2019 году впервые было экспериментально показано, что коэффициент нелинейного показателя преломления для жидкой воды и ряда других жидкостей в миллион раз больше, чем в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах [2]. Данные результаты хорошо соотносятся с предсказаниями разработанной ранее теории колебательной нелинейности, согласно которой доминирующим механизмом нелинейности в ТГц диапазоне выступают ангармонические колебания атомов в молекулах вещества [3]. Тем не менее, в экспериментах типа ТЭК для жидкой воды измеренный коэффициент нелинейного показателя преломления оказался гораздо меньшим, чем в работах по измерению нелинейности при взаимодействии среды с одной только ТГц волной [4]. Основываясь на данном факте ряд ученых высказал сомнения по поводу наличия гигантской нелинейности в жидкой воде. В настоящей публикации на основе теории колебательной нелинейности, которая и предсказала гигантскую величину коэффициента нелинейного показателя преломления в ряде материалов, аналитически показано, что нелинейный отклик в экспериментах по наблюдению ТЭК действительно отличается от нелинейного отклика при взаимодействии среды с только ТГц волной. Причем теоретически предсказанные особенности этого отклика хорошо соотносятся с экспериментальными данными.

Основная часть. С помощью модели, описывающей колебательный поляризационный отклик изотропной среды в поле ТГц излучения, которая была получена в работе [5] на основе теории колебательной нелинейности [3], решается задача о взаимодействии двух квазимонохроматических волн – на частотах оптического и ТГц излучения, соответственно, – с изотропной диэлектрической средой колебательной природы. Учитывается, что амплитуда электрического поля ТГц волны на порядки превышает амплитуду поля оптического излучения, из-за чего возникающая нелинейность показателя преломления зависит от интенсивности только ТГц волны. В результате получено выражение для кубического нелинейного поляризационного отклика колебательной природы на частоте оптического излучения. С помощью данного выражения выведена аналитическая формула для расчета коэффициента нелинейного показателя преломления оптической волны, который и измерялся в экспериментах типа ТЭК. Оценки данного выражения для жидкой воды, взаимодействующей с импульсами, центральные длины волн которых составляют 800 нм и 330 мкм (1 ТГц), по порядку совпадают с экспериментально измеренными значениями.

Выводы. Получена аналитическая формула для коэффициента нелинейного показателя преломления в случае взаимодействия со средой колебательной природы двух квазимонохроматических волн на различных частотах, одна из которых на порядки интенсивнее другой. С помощью полученной формулы показано, что в случае терагерцового

эффекта Керра коэффициент нелинейного показателя преломления снижается на порядки по сравнению со случаем взаимодействия среды с только терагерцовой волной, что хорошо согласуется с экспериментальными данными. Полученные результаты подтверждают справедливость предсказаний теории колебательной нелинейности и открывают возможность для теоретического описания особенностей двухволнового взаимодействия в средах колебательной природы, что необходимо для проектирования сверхбыстрых устройств терагерцовой фотоники, предназначенных для управления излучением за счет нелинейных эффектов.

Список использованных источников:

1. Hoffmann M. C. et al. Terahertz kerr effect //Applied Physics Letters. – 2009. – Т. 95. – № 23. – С. 231105.
2. Тсупкин А. N. et al. High Kerr nonlinearity of water in THz spectral range //Optics express. – 2019. – Т. 27. – №. 8. – С. 10419-10425.
3. Dolgaleva K. et al. Prediction of an extremely large nonlinear refractive index for crystals at terahertz frequencies //Physical Review A. – 2015. – Т. 92. – №. 2. – С. 023809.
4. Sarbak S. et al. Direct observation of the THz Kerr effect (TKE) in deionized, distilled and buffered (PBS) water //Physical Chemistry Chemical Physics. – 2017. – Т. 19. – №. 39. – С. 26749-26757.
5. Guselnikov M. S., Zhukova M. O., Kozlov S. A. Inertia of the oscillatory mechanisms of giant nonlinearities of optical materials in the terahertz spectral range //Journal of Optical Technology. – 2022. – Т. 89. – №. 7. – С. 371-377.