

Асимметрии в задаче о генерации второй гармоники–суммарной частоты в тонком сферическом слое. Часть I

В.Н. Капшай, А.И. Толкачёв, А.А. Шамына

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель
E-mail: anton.talkachov@gmail.com

Для изучения поверхностей малых диэлектрических частиц используются нелинейные оптические эффекты второго порядка, такие как генерация второй гармоники [1] и генерация суммарной частоты [2]. Это возможно вследствие наличия анизотропии у поверхностей частиц. Мы предлагаем рассмотреть нелинейную генерацию электромагнитным излучением от двух когерентных источников в поверхностном слое сферической диэлектрической частицы, это явление будем называть генерацией второй гармоники–суммарной частоты (ВГ–СЧ) [3].

Проведем анализ распределения плотности мощности генерируемого излучения ВГ–СЧ по направлениям θ, φ (зависимость $S_r^{(2\omega)}(\theta, \varphi)$) для отдельных типов анизотропии. Здесь и в дальнейшем под типом анизотропии $\chi_i^{(2)}$ подразумеваются значения независимых компонент $\chi_{1-4}^{(2)}$ тензора диэлектрической восприимчивости второго порядка $\chi_i^{(2)} = 1$, $\chi_j^{(2)}|_{j \neq i} = 0$. Параметры задачи зададим в виде

$$\gamma = 0.5 \text{ rad}, \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \eta = 1, \varphi_{\text{in}}^{(1)} = \pi/2 \text{ rad}, \varphi_{\text{in}}^{(2)} = 0, \xi = 1.34/1.33, \quad (1)$$

т.е. угол между волновыми векторами падающих волн 0.5 rad , исходные волны линейно поляризованы, их комплексные амплитуды напряженности одинаковы, угол между плоскостями поляризации падающих волн составляет $\pi/2$. Показатель дисперсии ξ соответствует отношению показателей преломления для воды на длинах волн 400 и 800 нм в вакууме.

Для того, чтобы количественно охарактеризовать распределение плотности мощности генерируемого излучения ВГ–СЧ, мы будем рассматривать следующие показатели, определяемые как

$$A_{FB} = \frac{\int_{\Omega_F} S_r^{(2\omega)} d\Omega - \int_{\Omega_B} S_r^{(2\omega)} d\Omega}{\int_{4\pi} S_r^{(2\omega)} d\Omega}, \quad A_{RL} = \frac{\int_{\Omega_R} S_r^{(2\omega)} d\Omega - \int_{\Omega_L} S_r^{(2\omega)} d\Omega}{\int_{4\pi} S_r^{(2\omega)} d\Omega}, \quad (2)$$

$$A_{UD} = \frac{\int_{\Omega_U} S_r^{(2\omega)} d\Omega - \int_{\Omega_D} S_r^{(2\omega)} d\Omega}{\int_{4\pi} S_r^{(2\omega)} d\Omega}.$$

Назовем их асимметриями (вперед–назад (FB), вправо–влево (RL) и вверх–вниз (UD)). Здесь Ω_F (Ω_B) — телесный угол, ограниченный передней (задней) полусферой, Ω_R (Ω_L) — правой (левой) полусферой, Ω_U (Ω_D) — верхней (нижней) полусферой, определяемые условиями

$$\begin{aligned}
\Omega_F : \theta \in \left[0; \frac{\pi}{2}\right]; \quad \Omega_B : \theta \in \left[\frac{\pi}{2}; \pi\right]; \quad \Omega_R : \varphi \in [0; \pi); \\
\Omega_L : \varphi \in [-\pi; 0); \quad \Omega_U : \varphi \in \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]; \quad \Omega_D : \varphi \in \left[-\pi; -\frac{\pi}{2}\right) \cup \left[\frac{\pi}{2}; \pi\right).
\end{aligned}
\tag{3}$$

Приведем вид графиков зависимостей асимметрий от относительного радиуса частицы ($k_\omega a$, эта величина есть накопленная разность фаз при прохождении падающей волной расстояния, равного радиусу частицы) для типов анизотропии $\chi_{1-4}^{(2)}$ и тензора $\chi_{ijk}^{(2)}$, соответствующего малахитовому зеленому (МЗ), при значениях параметров задачи (1) (рис.).

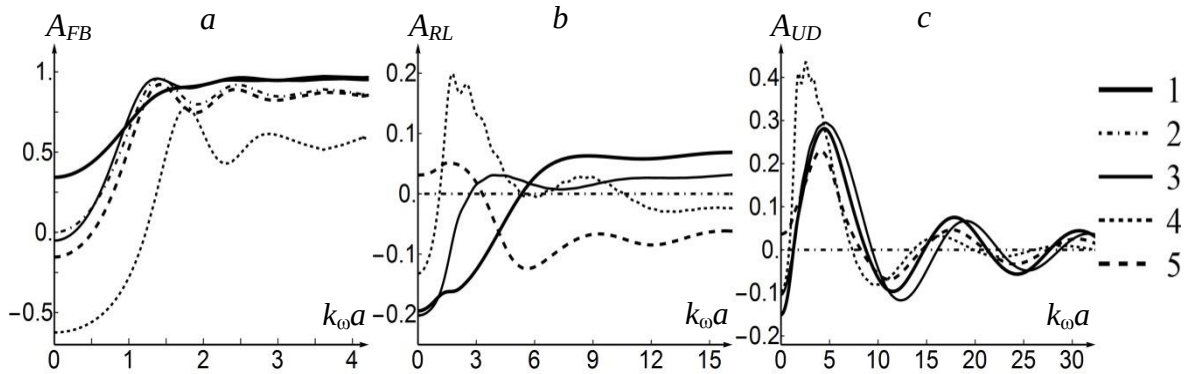


Рис. Зависимость асимметрий от радиуса сферического слоя:
 (а) вперед–назад, (b) вправо–влево, (с) вверх–вниз. Типы анизотропии:
 (1) $\chi_1^{(2)}$, (2) $\chi_2^{(2)}$, (3) $\chi_3^{(2)}$, (4) $\chi_4^{(2)}$, (5) малахитовый зеленый.

Представленные зависимости асимметрий (рис.) имеют осциллирующий вид, но с ростом параметра $k_\omega a$ стремятся к постоянным значениям. Для $A_{FB}(k_\omega a)$ (рис., а) и типов анизотропии $\chi_{1-3}^{(2)}$ и МЗ $A_{FB} \rightarrow 1$ уже при $k_\omega a \approx 3$, для $\chi_4^{(2)}$ — $A_{FB} \rightarrow 0.64$ начиная с $k_\omega a \approx 4$. Для зависимостей $A_{RL}(k_\omega a)$ графики для каждого типа анизотропии (рис., б) стремятся к различным значениям при увеличении $k_\omega a$, это наблюдается со значений $k_\omega a \approx 12$. Для типа анизотропии $\chi_2^{(2)}$ асимметрия A_{FB} близка к нулю, а $A_{UD} \equiv 0$. Графики асимметрий A_{UD} при увеличении $k_\omega a$ совершают колебания с постепенно уменьшающейся амплитудой (рис., с).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ (проект Ф18М–026).

1. Капшай В.Н., Шамына А.А. // Оптика и спектроскопия. 2017. Т. 123, № 3. С. 416–429.
2. Шамына А.А., Капшай В.Н. // Оптика и спектроскопия. 2018. Т. 124, № 1. С. 105–121.
3. Толкачёв А.И., Капшай В.Н. // Актуальные вопросы физики и техники: Матер. VII Респ. науч. конф. студ., маг. и аспирантов: ГГУ, 2018. Ч. 1. С. 287–290.