

Свойства пространственного распределения генерируемого излучения в задаче о генерации второй гармоники–суммарной частоты в поверхностном слое сферической частицы. Часть I

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

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

Явления генерации второй гармоники (ГВГ) и генерации суммарной частоты (ГСЧ) известны на протяжении десятков лет, что позволило найти им применение в различных областях науки. На данный момент эти явления активнее всего используются для изучения структуры, свойств и состава поверхностей микро- и наноразмерных частиц.

При падении двух электромагнитных волн, имеющих одинаковую частоту, на тонкий оптически нелинейный слой генерируется излучение одинаковой частоты и в явлении ГВГ [1], и в явлении ГСЧ [2]. В результате картина распределения плотности мощности генерируемого излучения отличается от аналогичной картины для каждого из явлений в отдельности. Рассмотрим ГВГ и ГСЧ совместно и далее будем называть это явление генерацией второй гармоники–суммарной частоты.

В обобщённом приближении Рэлея–Ганса–Дебая [1–3], рассматривая случай плоских электромагнитных исходных волн, падающих на сферическую диэлектрическую частицу, покрытую оптически нелинейным тонким слоем, можно получить формулы для напряжённости электрического поля второй гармоники–суммарной частоты [3]:

$$\mathbf{E}^{(2\omega)}(\mathbf{x}) = 4\pi\mu_{2\omega} \frac{(2\omega)^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{2\omega}r)}{r} d_0 a^2 (1 - \mathbf{e}_r \otimes \mathbf{e}_r) \sum_{\alpha=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 E_\alpha E_\beta \mathbf{f}^{(\alpha\beta)}, \quad (1)$$

где вспомогательные величины

$$\begin{aligned} \mathbf{f}^{(2\omega)} &= \mathbf{f}^{(11)} + 2\eta\mathbf{f}^{(12)} + \eta^2\mathbf{f}^{(22)}, & f_i^{(\alpha\beta)} &= X_{ijk}^{(\alpha\beta)} e_j^{(\alpha)} e_k^{(\beta)}, \\ X_{ijk}^{(\alpha\beta)} &= \frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} \exp(i\mathbf{q}^{(\alpha\beta)} \cdot \mathbf{x}') \chi_{ijk}^{(2)}(\mathbf{x}') d\Omega_{\mathbf{x}'}, & \alpha, \beta &= 1, 2 \end{aligned} \quad (2)$$

выражаются через тензор нелинейной диэлектрической восприимчивости поверхностного слоя $\chi_{ijk}^{(2)}$ и параметры падающих волн с использованием правила суммирования по повторяющимся индексам.

Вектор $\mathbf{f}^{(2\omega)}$, характеризующий пространственное распределение генерируемого излучения, подчиняется некоторым математическим свойствам [4]. Приведём дополнительно обнаруженные свойства в таблице. Во второй графе приведены условия, накладываемые на параметры задачи, необходимые для проявления условия, а в третьей – свойства.

Свойства вектора $\mathbf{f}^{(2\omega)}$

№	УСЛОВИЯ	Свойство
1	$\forall \chi_{1-3}^{(2)}, \chi_4^{(2)} = 0,$ $\text{Im}[\eta] = 0, \sigma_1 = \sigma_2 = 0$	$\text{Re}[\mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi)] = 0$
2	$\forall \chi_4^{(2)}, \chi_{1-3}^{(2)} = 0, \text{Im}[\eta] = 0,$ $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$	$\text{Im}[\mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi)] = 0$
3	$\forall \chi_2^{(2)}, \chi_{1,3,4}^{(2)} = 0, \text{Im}[\eta] = 0,$ $\varphi_{in}^{(1)} = \pi m_1 / 2, m_1, m_2 \in \mathbb{Z},$ $\varphi_{in}^{(2)} = \pi m_1 / 2 + \pi m_2$	$\text{Re}[\mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi)] = 0$
4	$\forall \chi_2^{(2)}, \chi_{1,3,4}^{(2)} = 0, \text{Im}[\eta] = 0,$ $\sigma_1 = (-1)^{m_1} \sigma_2, m_1, m_2 \in \mathbb{Z},$ $\varphi_{in}^{(1)} + (-1)^{m_1} \varphi_{in}^{(2)} = \pi m_2$	$\text{Re}[\mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi)] = 0$
5	$\forall \chi_2^{(2)}, \chi_{1,3,4}^{(2)} = 0,$ $\arg(\eta) = m_1 \pi / 2,$ $\forall \Delta\varphi, m_1 \in \mathbb{Z},$	$\text{Re}[\mathbf{e}_\varphi \mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi)] = 0,$ $\text{Re}[\mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi + \Delta\varphi)] = \text{Re}[\mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi)],$ $\text{Re}[\mathbf{f}^{(2\omega)}(-\theta, \varphi)] = \text{Re}[(1 - 2\mathbf{e}_\theta \otimes \mathbf{e}_\theta) \mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi)]$
6	$\chi_{1-3}^{(2)} = 0, \eta = \pm 1, \sigma_1 = -\sigma_2,$ $\varphi_{in}^{(1)} + \varphi_{in}^{(2)} = \pi m_1, m_1 \in \mathbb{Z},$	$\mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, -\varphi) = -(1 - 2\mathbf{e}_\varphi \otimes \mathbf{e}_\varphi) \mathbf{f}^{(2\omega)}(\theta, \varphi)$

В таблице в первых четырёх строках указаны свойства, которые накладывают ограничение на фазу генерируемой электромагнитной волны. В пятой строке описано свойство аксиальной симметрии пространственного распределения генерируемого излучения. Свойство в шестой строке имеет физический смысл зеркальной симметрии пространственного распределения плотности мощности этого излучения.

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. Капшай В.Н., Шамына А.А. // Оптика и спектроскопия. 2018. Т.124, №6. С.795–803.
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.
4. Шамына А.А., Капшай В.Н., Толкачёв А.И. // Проблемы взаимодействия излучения с веществом: Матер. V Междунар. науч. конф. Гомель, ГГУ. 2018. С. 143–149.