

Ответ на комментарий к работе “Плазмоны в волноводных структурах из двух слоев графена” (Письма в ЖЭТФ 97(9), 619 (2013))

П. И. Буслаев¹⁾, И. В. Иорш⁺, И. В. Шадриков^{+,*}, П. А. Белов⁺, Ю. С. Кившарь^{*}

⁺С.-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 197101 С.-Петербург, Россия

^{*}Nonlinear Physics Center, Research School of Physics and Engineering, Australian National University, ACT 0200 Canberra, Australia

Поступила в редакцию 10 апреля 2019 г.

После переработки 10 апреля 2019 г.

Принята к публикации 10 апреля 2019 г.

DOI: 10.1134/S0370274X19110158

Мы благодарим М. В. Давидовича за комментарий на нашу работу “Плазмоны в волноводных структурах из двух слоев графена” [1]. Мы согласны с автором комментария, что проводимость графена является тензорной величиной. Кроме того, проводимость также является функцией не только частоты, но и проекции волнового вектора электромагнитной волны на плоскость графена. Тем не менее для не слишком больших значений волнового вектора в плоскости зависимостью проводимости графена от волнового вектора и анизотропией можно пренебречь. Количественно условие применимости приближения локальности и изотропности можно записать как $\beta c/(2\mu) < c/v_F = 300$ [2]. Это условие перестает выполняться лишь при очень больших векторах, при которых существенный вклад вносят потери в системе, характеризуемые величиной γ . Мы согласны с автором комментария, что необходимо было подробнее остановиться на условиях применения локальной изотропной модели.

В случае системы с потерями, решениями дисперсионного уравнения могут быть как состояния с вещественной частотой и комплексным волновым вектором, так и комплексной частотой и вещественным волновым вектором. Мы ищем решения с вещественной частотой и комплексным волновым вектором (насколько мы поняли, автор комментария тоже). Далее мы требуем, чтобы собственная волна затухала при распространении. То есть знак вещественной и мнимой части волнового вектора в плоскости структуры должен совпадать. Компонента волнового вектора, перпендикулярная плоскости всегда выбирается таким образом, чтобы поле затухало от гра-

ницы структуры. То есть, если волноводное число $k_x = k'_x + ik''_x$, то волновой вектор поперек структуры

$$q = \sqrt{k'^2 - k_0^2 - k''^2 + 2ik'_x k''_x} = |q|e^{i\varphi_q}; \quad \varphi_q \in [0, \pi/2].$$

Уравнение на волноводное число для поперечно-магнитной (ТМ) поляризации в этом случае может быть записано как

$$1 - \frac{4\pi}{c} |\sigma| |q| \exp \left[i \left(\varphi_q - \arctan \left(\frac{\text{Re}(\sigma)}{\text{Im}(\sigma)} \right) \right) \right].$$

Взглянув на показатель экспоненты, легко убедиться, что уравнение имеет решения лишь в случае положительной мнимой части проводимости (вещественная положительна всегда). Аналогичным образом получаются условия и для случая поперечно-электрической (ТЕ) поляризации. Подчеркнем, что изначально мы потребовали, чтобы поле затухало вдоль направления распространения структуры, и чтобы оно затухало от границы структуры. Возможно, автор комментария использует другое определение собственных волн системы. В частности, очевидно, что в случае “втекающих” волн, т.е. волн, в которых энергия непрерывно закачивается извне, условие затухания необязательно. Однако, на наш взгляд, такие волны не являются собственными волнами системы.

-
1. П. И. Буслаев, И. В. Иорш, И. В. Шадриков, П. А. Белов, Ю. С. Кившарь, Письма в ЖЭТФ **97**(9), 619 (2013).
 2. L. A. Falkovsky and A. A. Varlamov, Eur. Phys. J. B **56**(4), 281 (2007).

¹⁾e-mail: pbuslaev@phystech.edu