Письма в ЖЭТФ, том 109, вып. 11, с. 805 – 805

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

П. И. Буслаев[+1)], И. В. Иорш[+], И. В. Шадривов[+], 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 границы структуры. То есть, если волноводное число $k_x = k_x' + ik_x''$, то волновой вектор поперек структуры

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

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

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

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 (TE) 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. Шадривов, 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