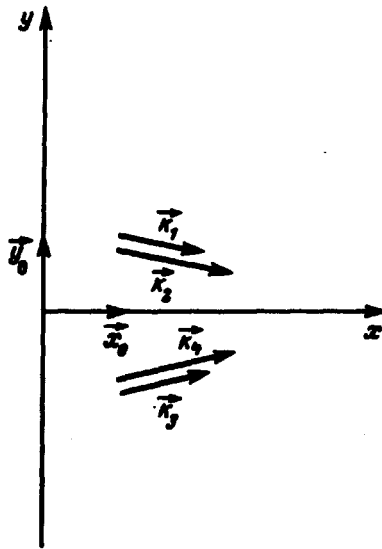


## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭФФЕКТА ВАВИЛОВА – ЧЕРЕНКОВА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ РАЗНОСТНОЙ ЧАСТОТЫ

Л. С. Корниенко, Н. В. Кравцов, А. К. Шевченко

В настоящей работе рассмотрена новая схема выделения разностной частоты, основанная на использовании излучения Вавилова – Черенкова от связанных зарядов, наведенных в материальной среде переменным электромагнитным полем.



Рассмотрим геометрию поля (рисунок), образованного в материальной среде в результате сложения четырех плоских монохроматических электромагнитных волн амплитуды, волновые вектора которых составляют небольшой угол  $\alpha$  с осью  $ox$ , а напряженность электрического поля лежит в плоскости рисунка:

$$E = E_0 \left\{ (x_0 \sin \alpha + y_0 \cos \alpha) \operatorname{Re} \left[ e^{i(k_1 r - \omega_1 t)} + e^{i(k_2 r - \omega_2 t)} \right] + (-x_0 \sin \alpha + y_0 \cos \alpha) \times \right. \\ \left. \times \operatorname{Re} \left[ e^{i(k_3 r - \omega_1 t)} + e^{i(k_4 r - \omega_2 t)} \right] \right\},$$

где

$$\begin{aligned} k_1 &= k_1(x_0 \cos \alpha - y_0 \sin \alpha), \\ k_2 &= k_2(x_0 \cos \alpha - y_0 \sin \alpha), \\ k_3 &= k_1(x_0 \cos \alpha + y_0 \sin \alpha), \\ k_4 &= k_2(x_0 \cos \alpha + y_0 \sin \alpha). \end{aligned}$$

Пренебрегая членами второго порядка малости по  $\alpha$ , получим после преобразований:

$$E = 4E_0 \left[ x_0 a \sin(k_0 x - \Omega t) \cos \frac{kx - \omega t}{2} \sin(\alpha k_0 y) + y_0 \cos(k_0 x - \Omega t) \cos \frac{kx - \omega t}{2} \cos(\alpha k_0 y) \right], \quad (1)$$

где  $k_0 = \frac{1}{2}(k_1 + k_2)$ ,  $\Omega = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$ ,  $k = k_2 - k_1$ ,  $\omega = \omega_2 - \omega_1$ .

Выражение (1) описывает поле в той области, в которой медленно меняющаяся величина  $\sin \frac{k y}{2} \ll 1$ .

В нелинейной квадратичной среде это поле приведет к появлению системы связанных зарядов с плотностью  $\rho = -\operatorname{div} P = -\operatorname{div} (\chi E^2)$ . Система зарядов будет иметь, очевидно, периодическую структуру с размерами единичной ячейки  $X_0 = 2\pi/k$  и  $Y_0 = \pi/\alpha k_0$  и будет двигаться со скоростью  $\omega/k = c/n$ , где  $n$  — показатель преломления среды в диапазоне частот  $\omega_1 + \omega_2$ . От этой системы можно получить излучение Вавилова — Черенкова на частоте  $\omega$  и кратных ей частотах при условии, что скорость распространения электромагнитных колебаний этих частот меньше, чем  $c/n$  [1]. Это условие легко выполняется. В случае ионных кристаллов, например, достаточно, чтобы частоты  $\Omega$  и  $\omega$  лежали по разные стороны от инфракрасной области поглощения.

При вычислении мощности черенковского излучения надо учесть, что в отличие от классического случая при движении волны связанных зарядов реальная скорость перемещения зарядов может не совпадать по направлению со скоростью движения волны. В частности, если свойства среды таковы, что отношение компонент вектора поляризации равно

$$\frac{P_x}{P_y} = \frac{E_x^2}{E_y^2} = \alpha.$$

то, следовательно, ток связанных зарядов направлен по оси  $oy$ , хотя волна заряда бежит вдоль оси  $ox$ . Расчет эффекта Вавилова — Черенкова, учитывающий это отличие, показывает, что фронт волны, которую излучает единичная ячейка системы, образован двумя полуплоскостями, которые пересекаются под удвоенным черенковским углом  $\theta$  ( $\sin \theta = \frac{n}{n_\omega}$ ) по оси единичной ячейки. Для того, чтобы мощность, излучаемая на частоте  $\omega$ , была бы максимальна, нужно положить

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Y_0}{X_0} = \frac{n}{n_\omega \sqrt{1 - \left(\frac{n}{n_\omega}\right)^2}}, \quad (2)$$

откуда

$$\alpha = \frac{kn_\omega \sqrt{1 - \left(\frac{n}{n_\omega}\right)^2}}{2k_0 n}.$$

Максимальная мощность, излучаемая многослойной системой зарядов, оказывается равной

$$W = \frac{(4\omega H \chi E^2)^2 L}{\pi c \sqrt{n_\omega^2 - n^2}} = \frac{(\omega \chi W_0)^2 L}{n^2 c \sqrt{n_\omega^2 - n^2}},$$

где  $H$  – высота многослойной системы ограниченная условием

$\sin \frac{k_a H}{2} \ll 1$ ,  $L$  – ее длина, а  $W_0$  – общая мощность излучения на

частотах  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Численная оценка показывает, что при  $\chi = 10^{-6} \text{CGSE}$ ,  $W = 10 \text{ Мвт}$  и  $\omega$  в диапазоне  $10^{13} \text{ и}$ , излучаемая мощность может достигать сотен ватт.

В общем случае расчеты несколько усложняются, так как приходится учитывать тензорный характер зависимости  $P$  от  $E$ .

Эффективность преобразования можно повысить, поместив нелинейную среду в резонатор, настроенный на частоту  $\omega$  и работающий на такой моде, которая соответствует структуре поля (1).

Следует отметить, что выполнение условия (2) и, следовательно, обеспечение синфазного взаимодействия генерируемого излучения с волной поляризации нелинейной среды возможно в любой среде, в том числе и в такой, в которой нельзя получить когерентное взаимодействие волн в обычном смысле.

Авторы благодарны Б.М.Болотовскому за интерес к работе и ее обсуждение.

Институт ядерной физики  
Московского  
государственного университета  
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию  
2 июля 1973 г.

#### Литература

[ 1 ] Г.А.Аскарьян. ЖЭТФ, 42, 1360, 1960; 45, 643, 1963.