

К ВОПРОСУ О ВЫНУЖДЕННОМ РАССЕЙНИИ МАНДЕЛЬШТАМА-
БРИЛЛИЭНА

А.А.Чабан

В последнее время появился ряд работ (см., например, [1-4]), в которых теоретически и экспериментально исследовался вопрос о вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллэна (ВРМБ). Ниже будет показано, что генерируемые при ВРМБ упругие колебания представляют собой не обычные звуковые волны, а аномальные волны с пониженной скоростью распространения и лучевой скоростью, направленной под некоторым углом к фронту. Явление имеет ту же природу, что и рассмотренное в [5]. По-видимому, оно уже наблюдалось экспериментально в виде сдвига стоксовой линии [4].

Пусть плоская световая волна с постоянной плотностью потока энергии I_0 падает вдоль оси x на линзу с фокусным расстоянием l .

Поток энергии dI , идущий к фокусу из элемента телесного угла $d\Omega$, равен:

$$dI(\rho) = I_0 \ell^2 \rho^3 d\Omega, \quad (1)$$

где $\rho = \cos^{-1} \nu$, ν - угол между направлением светового луча и осью x . (Преломление световых лучей на границе исследуемого вещества для простоты не учитываем, поскольку оно приводит лишь к незначительной числовой поправке).

Длина волны гиперзвука, ответственного за ВРМБ, на много порядков величины меньше размеров размытого фокального пятна. Поэтому в первом приближении достаточно рассмотреть задачу о распространении упругих колебаний в бесконечной однородной среде с коэффициентом усиления

$$\alpha(\rho) \approx \mathcal{D} \frac{dI(\rho)}{d\Omega} = \mathcal{D} \ell^2 I_0 \rho^3 \quad \text{при } \rho \leq \rho_0. \quad (2)$$

Здесь \mathcal{D} - постоянная, $\rho_0 = \cos^{-1} \nu_0$, ν_0 - максимальный угол между световыми лучами и осью x . При $\rho > \rho_0$ усиление из-за ВРМБ быстро падает. При выводе соотношения (2) принято, что коэффициент усиления гиперзвука, распространяющегося под углом ν к оси x , пропорционален величине $dI/d\Omega$ для этого угла, причем угловая зависимость последней берется из (1).

Сначала изучим вопрос о том, какие типы колебаний могут распространяться в среде с указанными выше анизотропными свойствами коэффициента усиления. Пусть бесконечная однородная пластина, расположенная в плоскости $x = 0$, совершает колебания с круговой частотой ω . Найдем результирующее излучение от всех элементов пластины в полупространстве $x > 0$. Согласно [5], смещение в точке с координатой x равно:

$$u(x) = 2\pi A \int_0^{\rho_0} x \exp[i(\omega t - kx\rho) + \alpha(\rho)x\rho] d\rho. \quad (3)$$

Здесь A - постоянная, $k = \omega/s$, s - скорость звука. Если усиление столь велико, что $\alpha(\rho_0)x\rho_0 \gg 1$, то:

$$u(x) \approx \frac{2\pi A}{ik} \exp\left[i\left(\omega t - \frac{kx}{\cos \nu_0}\right) + \frac{\alpha(\cos \nu_0)x}{\cos \nu_0}\right]. \quad (4)$$

Таким образом, в активной среде вдоль оси x могут распространяться плоские волны с аномально низкой скоростью $z \cos \vartheta_0$ и коэффициентом усиления $\alpha (\cos \vartheta_0) / \cos \vartheta_0$. В нашем случае задача несколько отлична от рассмотренной выше. Надо проследить трансформацию обычной волны после того, как включено усиление. Из-за свойств симметрии ясно, что волновое число k измениться не может. Следовательно, в нашей задаче будет усиливаться во времени однородная плоская волна с первоначальным волновым числом, но с измененной частотой

$$\omega' = \omega \cos \vartheta_0. \quad (5)$$

Скорость звука будет $z \cos \vartheta_0$, а усиление описывается множителем $\exp[\alpha (\cos \vartheta_0) st]$.

При ВРМБ с углом рассеяния 180° первая стоковая компонента будет характеризоваться именно такой модифицированной скоростью звука. Для стоковых компонент более высокого порядка картина крайне усложняется. Уменьшение скорости звука, определенной из вынужденного рассеяния по сравнению со скоростью, найденной из рассеяния на тепловых колебаниях, отмечалось в [4], где это явление рассматривалось как следствие нагревания под действием мощного светового пучка. (К сожалению, в [4] апертура линзы для рассеянных лучей не была мала по сравнению с апертурой для исходного светового пучка, что необходимо для количественной интерпретации явления).

Таким образом, при расчете вынужденного рассеяния необходимо учитывать, что генерируются не обычные упругие волны, а волны с аномальной скоростью распространения и с лучевой скоростью, направленной под углом к фронту волны. Представляет интерес проследить экспериментально изменение эффективной скорости, полученной из ВРМБ, в зависимости от угла, даваемого геометрией опыта.

Автор благодарен Д.Л.Газаряну, М.А.Исаковичу, И.А.Чабан за интересное обсуждение.

Литература

- [1] R.Y.Chiao, C.H.Townes, B.P.Stoicheff. Phys. Rev. Lett., 12, 592, 1964.
- [2] E.Garmire, C.H.Townes. Appl. Phys. Lett., 5, 84, 1964.
- [3] R.G.Brewer, K.E.Kieckhoff. Phys. Rev. Lett., 13, 334, 1964.
- [4] Д.И.Маш, В.В.Морозов, В.С.Старунов, Е.В.Тиганов, И.Л.Фабелинский. Письма ЖЭТФ, 2, 246, 1965.
- [5] А.А.Чабан, Письма ЖЭТФ, 2, 234, 1965.