

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ГИПЕРЗВУКОВОЙ ВОЛНЕ

А.Л.Полякова

При фокусировке световой волны, созданной гигантским импульсом лазера, внутри монокристалла кварца происходит "раскачка" гиперзвуковой волны [1]. Оценки показывают, что интенсивность звуковой волны в таких опытах оказывается весьма значительной, следовательно, при ее распространении важную роль должны играть нелинейные явления. Нелинейные явления приводят к искажению формы волны, к появлению высших гармоник и при достаточно больших интенсивностях - к образованию периодической ударной волны.

Этому процессу нелинейных искажений противодействует диссипация энергии, которая приводит к размыванию крутых ударных фронтов. Для характеристики степени нелинейных искажений в звуковой волне можно ввести безразмерный параметр [2]

$$R = \frac{\epsilon \rho}{\eta_{эф} \omega}, \quad (1)$$

где ρ и ω - амплитуда давления и частота звуковой волны, ϵ - нелинейный параметр среды, который для твердых тел является величиной порядка 4 + 5, $\eta_{эф}$ - некоторая эффективная "вязкость" среды, определяющая диссипацию звуковой энергии. Если $R \ll 1$, то диссипация преобладает над нелинейностью и звуковая волна ведет себя в основном как волна малой амплитуды. Если $R \gg 1$, то преобладает нелинейность, форма звуковой волны сильно искажается и она становится периодической ударной волной. Ширина фронта ударной волны при этом $\delta \sim \lambda/R$, где λ - длина звуковой волны. Амплитуда n -й гармоники составляет величину $1/n$ от амплитуды первой гармоники.

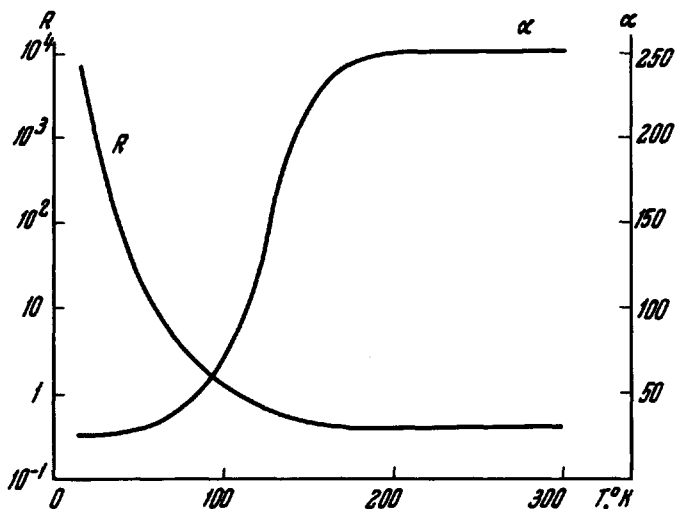
Используя известные выражения для коэффициента поглощения кварца [3,4], параметр R можно записать в виде

$$R = \frac{\epsilon \rho (1 + \omega^2 \tau^2)}{C T \gamma^2 \omega \tau}, \quad (2)$$

где C - теплоемкость на 1 см^3 , γ - постоянная Грннайзена, τ - время релаксации, характеризующее время установления равновесия фонон-

ного газа, T - температура. Легко видеть, что при фиксированной температуре параметр R имеет минимум при частоте $\omega = 1/\tau$. Поскольку C и τ сильно зависят от температуры, нелинейные эффекты также будут чувствительны к температуре.

Зависимость параметра R от температуры для кварца приведена на рисунке (численные значения получены для амплитуды давления $p = 2 \cdot 10^8$ дин/см² и частоты $f = 2,7 \cdot 10^{10}$ сек⁻¹; поглощение звука взято из экспериментов [3,4]; эти значения параметров близки к условиям опыта [1]).



Нелинейные эффекты играют существенно разную роль при разных температурах. Если при комнатных температурах нелинейность в звуковой волне для приведенных значений частоты и амплитуды невелика, то при низких температурах нелинейные эффекты становятся определяющими. При $T \sim 25^\circ\text{K}$ параметр $R \sim \lambda/a$ и, следовательно, при таких и более низких температурах звуковая волна является периодической ударной волной с шириной фронта $\delta \sim a$, где a - постоянная решетки. Быстрое возрастание параметра R с уменьшением температуры связано с тем, что поглощение звука в кварце при низких температурах не зависит от частоты и, следовательно, диссипация не приводит к размыванию крутых ударных фронтов.

Поглощение такой волны зависит от амплитуды и может значительно превышать величину поглощения волны малой амплитуды. Если коэффи-

циент поглощения такой волны определить как $\alpha = (1/\rho)(d\rho/dx)$, то при $R \gg 1$ $\alpha = \frac{\rho}{\rho_0} \alpha_0 R$, где α_0 - коэффициент поглощения волны малой амплитуды [2]. Зависимость α от температуры T показана на рисунке. При высоких T и $R < 1$ величина α совпадает с α_0 , а при низких температурах и $R \gg 1$ она равна $\alpha_1 = \frac{\epsilon \rho \omega}{\kappa \rho c_s^2}$ и не зависит от температуры. Разница между α_0 и α_1 уменьшается с ростом амплитуды звука.

Следует отметить, что большие силы, возникающие на фронте ударных волн, могут явиться причиной локальных разрушений кристалла при низких температурах, которые наблюдались в работе Кривожиж и др. [1]. Кроме того, при больших значениях R чисто продольная волна не может существовать и возникают сдвиговые напряжения, которые при определенных условиях могут достигать больших значений. Эти напряжения также могут приводить к разрушению кристалла.

Выражаю благодарность И.Л.Фабелинскому, Г.А.Аскарьяну и К.А.Наугольных за полезные дискуссии.

Акустический институт

Поступило в редакцию

31 мая 1966 г.

Литература

- [1] С.В.Кривожиж, Д.И.Мам, В.В.Морозов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский. Письма ЖЭТФ, 3, 378, 1966.
- [2] Л.К.Зарембо, В.А.Красильников. Успехи физ.наук, 48, 687, 1959.
- [3] Н.Б.Вösmel, К.Dransfeld. Phys. Rev., 117, 1245, 1960.
- [4] R.Nava, R.Azrt, I. Ciccazello, К.Dransfeld. Phys. Rev., 134A, 581, 1964.