

НЕЛИНЕЙНОЕ УСИЛЕНИЕ СЛАБОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ В ПЛАЗМЕ БЛИЗИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ МОЩНОЙ ВОЛНЫ НАКАЧКИ

Г.М. Батанов, К.А. Сарксян

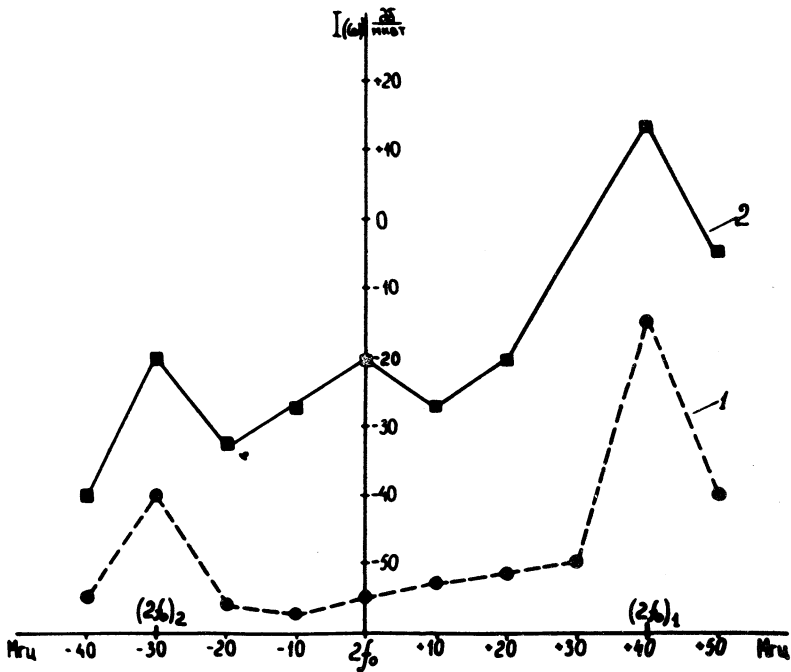
Известно, что параметрическое возбуждение электронных и ионных плазменных колебаний внешней волной накачки приводит к эффективному рассеянию заряженных частиц на хаотических плазменных полях и аномальной диссипации энергии падающих на плазму волн /1-7/. Недавно авторами было обнаружено нетепловое излучение магнитоактивной плазмы на частоте волны накачки f_0 и ее второй гармоники /8/. В настоящей заметке сообщается об обнаружении усиления слабых сигналов с частотами близкими к $2f_0$ при взаимодействии плазмы с мощной волной частоты f_0 .

Исследование проводилось на той же установке, что и в работах /4,7,8/. Плазма втекала и вытекала из прямоугольного волновода вдоль магнитного поля через узкие стенки волновода, к которым были приварены запредельные цилиндрические патрубки. В волноводе возбуждалась TE_{10} волна, электрическое поле которой было перпендикулярно постоянному магнитному полю.

В качестве слабого сигнала использовалось излучение того же магнетронного генератора, с помощью которого создавалась волна накачки. Как видно из рис. 1 (кривая 1), в спектре генератора вблизи $2f_0$ имеется слабый сплошной фон излучения на уровне -100 дБ от уровня сигнала на частоте f_0 и две линии на частотах $2f_{01}$ и $2f_{02}$ на уровне -70 дБ и -95 дБ соответственно. Таким образом, плотность энергии внешней волны даже на частоте $2f_{01}$ была ниже уровня плотности энергии плазменных шумов $\sim Te/r_{De}^3$ (r_{De} - электронный дебаевский радиус).

При взаимодействии плазмы с излучением спектр последнего в области частот $2f_0$ резко изменяется, а интенсивность излучения на этих частотах возрастает на 30-60 дБ (рис. 1, кривая 2).

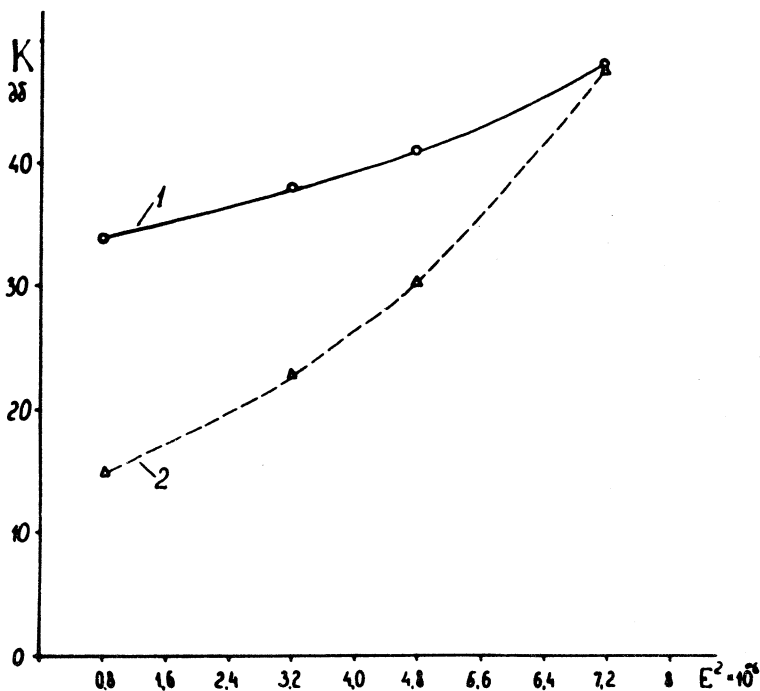
Как уже отмечалось ранее /8/, было обнаружено излучение на $2f_0$. Кроме того наблюдается усиление интенсивности обеих линий $2f_{01}$ и $2f_{02}$. При линейной трансформации волн с частотами в интерва-



Р и с. 1. Спектр излучения на частоте $2f_0$. $\omega_{вн}/2\pi f_0 = 2$, $E = 2,7$ кв/см, 1 - спектр генератора; 2 - спектр усиленного излучения.

ле $2f_{01} \div 2f_{02}$ в продольные плазменные волны на верхней гибридной частоте должно иметь место интенсивное поглощение и отражение сигналов на частотах около $2f_0$, а в описываемом эксперименте наблюдается увеличение интенсивности линий $2f_{01}$ и $2f_{02}$ на 30 дБ, что свидетельствует об их нелинейном усилении при наличии мощной волны накачки. В пользу термина "усиление", по-видимому, говорят и следующие факты. Тогда как интенсивность волны на частоте $2f_0$ оказывается одинаковой как в волноводе, так и вне его /8/, интенсивность излучения на $2f_{01}$ и $2f_{02}$, прошедшего через запредельные патрубki, на 30 дБ ниже, чем его интен-

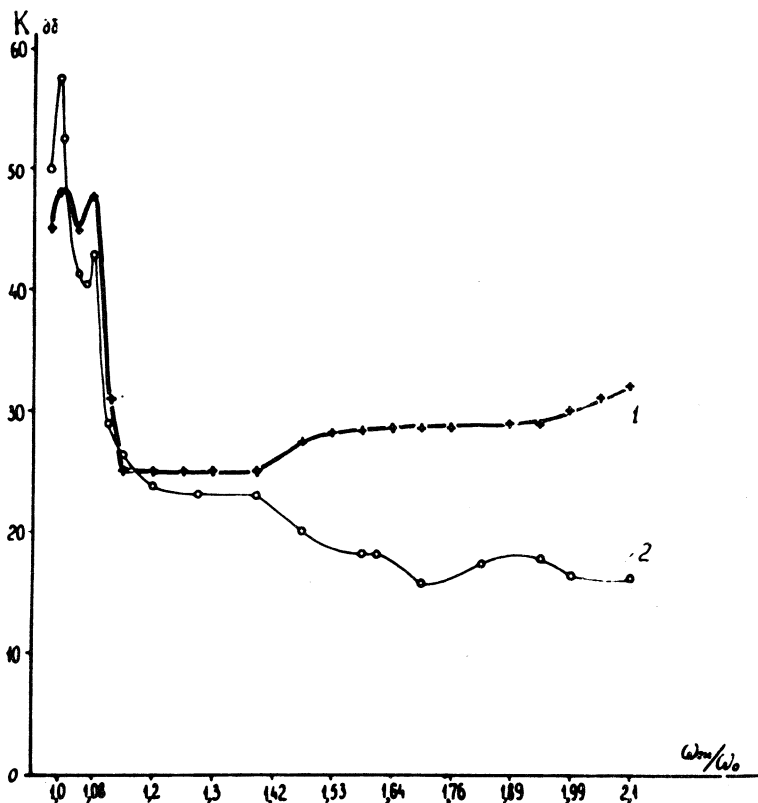
сивность в волноводе. На частоте $2f_0$ наблюдается изменение спектра излучения по сравнению со спектром генератора, тогда как для частот $2f_{01}$ и $2f_{02}$ изменений спектра не обнаружено. При этом следует отметить, что разности $\Delta_1 = 2f_0 - 2f_{01}$ и $\Delta_2 = 2f_0 - 2f_{02}$ совпадают с характерной частотой ленгмювских ионных колебаний $\omega_{Li}/2\pi$, которые наблюдались в спектре вблизи $f_0/8$.



Р и с. 2. Зависимость коэффициента усиления от мощности волны накачки. 1 - $\omega_{em}/2\pi f_0 = 1$; 2 - $\omega_{em}/2\pi f_0 = 1,08$.

Приводимые на рис. 2 зависимости коэффициента усиления от мощности волны накачки подтверждают высказанную мысль о "нелинейности" процесса усиления. Здесь интересно отметить, что экспоненциальный рост коэффициента усиления наблюдается в той же области электрических полей, при которых ранее имел место интенсивный нагрев электронов и излучение плазмы на $2f_0$.

Остановимся далее на зависимости коэффициента усиления от величины магнитного поля (рис. 3). Из рисунка видно, что эффект усиления имеет место во всем интервале $1 < \omega_{\text{ен}}/2\pi f_0 < 2$, причем он



Р и с. 3. Зависимость коэффициента усиления от магнитного поля (измерения в волноводе). $E = 2,7$ кв/см, 1 - $2f_{01}$; 2 - $2f_{02}$.

сильнее всего выражен вблизи $\omega_{\text{ен}}/2\pi f_0 \approx 1$, где наблюдаются два максимума $\omega_{\text{ен}}/2\pi f_0 = 1$ и $\omega_{\text{ен}}/2\pi f_0 = 1,08$. Сравнение зависимостей $K = K(\omega_{\text{ен}}/2\pi f_0)$ для различных частот друг с другом, а также с зависимостью интенсивности излучения на $2f_0$ от магнитного поля показывает, что и величина, и зависимость $K(\omega_{\text{ен}}/2\pi f_0)$ определяются частотой усиливаемого сигнала. Так, для $2f_{01}$ и $2f_{02}$ нет харак-

терных для излучения на $2f_0$ пиков при $2\mathcal{K}_0 = \sqrt{\omega_{en}^2 + \omega_{Le}^2}$ и $2\mathcal{K}_0 = \omega_{en}$. Величины коэффициентов усиления для $2f_{01}$ и $2f_{02}$ оказываются близкими друг к другу в интервале $1,15 < \omega_{en}/2\mathcal{K}_0 < 1,42$, в области же $\omega_{en}/2\mathcal{K}_0 \approx 2$ их различие достигает 12 дБ.

Относительно того, каков конкретный механизм усиления, в настоящее время трудно высказать достаточно аргументированную гипотезу. Тем не менее очевидно, что обнаруженное явление связано с развитием неустойчивости плазмы в интенсивном СВЧ поле. Об этом свидетельствуют как зависимость наблюдавшегося эффекта от мощности волны накачки, так и явно выраженная зависимость коэффициента усиления от частоты слабого сигнала. Последняя зависимость, по-видимому, может быть использована для изучения самого явления, а также для анализа спектров колебаний плазмы, возбуждаемых волной накачки.

Авторы выражают искреннюю признательность В. А. Силину за плодотворную дискуссию и помощь в работе.

Поступила в редакцию
II октября 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. Г. М. Батанов, К. А. Сарксян, В. А. Силин. Труды IX Международной конференции по явлениям в ионизованных газах, Бухарест, стр. 541 (1969).
2. И. Р. Геккер, О. В. Сизухин. Письма в ЖЭТФ, 9, 408 (1969).
3. К. Ф. Сергейчев, В. Е. Трофимов. Письма в ЖЭТФ, 13, 263 (1971).
4. Г. М. Батанов, Л. М. Горбунов, К. А. Сарксян. Краткие сообщения по физике № 8, 60 (1971).
5. В. П. Силин. ЖЭТФ, 48, 901, 1679 (1965).
6. Ю. М. Алиев, В. П. Силин, Х. Уотсон. ЖЭТФ, 50, 943 (1966).
7. Г. М. Батанов, К. А. Сарксян. Письма в ЖЭТФ, 13, 539 (1971).
8. Г. М. Батанов, К. А. Сарксян. ЖЭТФ (в печати).