

О ГЕНЕРАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

А. Б. Владимирский, В. П. Силин

УДК 533.9

Выявлены закономерности резонансного излучения n -ой гармоники из неоднородной плазмы, обусловленного полем p -поляризованной волны в области критической плотности.

Генерация гармоник излучения в лазерной плазме привлекает в последнее время большое внимание исследователей в силу тех возможностей изучения свойств плазмы, которые открывает такой нелинейный процесс. Сравнительно глубоко экспериментально и теоретически изучен процесс генерации второй гармоники (см. обзор /1/). Теория такой генерации развивалась в работах ряда авторов /2,3/. При этом работы /2/ основывались на эффекте излучения гармоники, обусловленном резонансным полем p -поляризованного излучения /4/ из области критической плотности неоднородной плазмы, а работа /3/ исследовала излучение из области турбулентности. Согласно /1/ резонансная генерация гармоник p -поляризованным излучением играет определяющую роль в широкой области значений плотности потока излучения. Именно поэтому ниже мы также ограничимся изучением роли только такого эффекта. Здесь следует отметить, что соответствующая теория генерации третьей гармоники построена в работе /5/.

С другой стороны в самое последнее время продвинувшиеся далеко вперед экспериментальные исследования позволили получить новые интересные результаты по генерации высших гармоник вплоть до одиннадцатой /6/. Отсутствие теории генерации высших гармоник сдерживает экспериментальные исследования. Поэтому в настоящей заметке мы изложим результаты теории генерации любой гармоники, базирующиеся на эффекте резонансного излучения из области

где $\alpha^2 = (\nu_{ef}/c)\sqrt{Lx_n}$, $(x_n/L) = n^2 \cos^2 \theta - 1 + (i\nu/n\omega_0)$.
 Наконец, учтя

$$I_n(F) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty - i\alpha^2}^{+\infty - i\alpha^2} e^{ik \ln(Ft)} \frac{dt}{t^{n+2}} = - \frac{2i^{n+1}}{(n+1)!} \times \\ \times \left[\ln F - C + \sum_{l=1}^{n+1} \frac{1}{l} - i \frac{\pi}{2} \right],$$

находим следующее окончательное выражение для магнитного поля n -той гармоники в вакууме:

$$H_n = \frac{(-1)^n}{\beta(n)\pi} \left(\frac{e}{mc\omega_0} \right)^{n-1} \left[\frac{H_1(0)L\omega_0}{c} \right]^n (n^2 \cos^2 \theta - 1)^{n-5/4} \frac{\sin^{n+1} \theta}{\sqrt{nc\cos \theta}} \times \\ \times \left\{ \ln \left(\frac{\sin \theta}{2\sqrt{n^2 \cos^2 \theta - 1}} \right) + \gamma(n) - \frac{i\pi}{2} \right\} \exp \left\{ \frac{2i\omega_0 L}{3c} \left[(nc\cos \theta)^3 - \right. \right. \\ \left. \left. - (n^2 \cos^2 \theta - 1)^{3/2} \right] - \frac{\nu L}{c} \left[\cos \theta + \left(n \frac{\nu_{ef}}{\nu} - 1 \right) \sqrt{\cos^2 \theta - \frac{1}{n^2}} \right] - \right. \\ \left. - i n \omega_0 t - i \frac{n\omega_0}{c} [(x+L)\cos \theta - y \sin \theta] \right\} + \text{к.с.},$$

где $\beta(n) = (n-1)(n-2)!$, а $\gamma(n) = 1 + \sum_{l=1}^{n-1} (1/l)$. Как бы-

ло отмечено в работе /5/, в теории генерации гармоник имеет смысл обобщение модели Денисова /4/ на случай, когда $\nu(x) = \nu_0(1 + x/L)$. В этом случае магнитное поле гармоники в вакууме должно быть домножено на $\exp\{\nu_0 I g_n(\theta)/c\}$, где $g_n(\theta) = \cos \theta - (8/15)n^4 \cos^5 \theta + [(4/5n) + (8/15)nc\cos^2 \theta](n^2 \cos^2 \theta - 1)^{3/2}$.

Для плотности потока энергии излучения n -ой гармоники получаем

$$q_n/q_c = (q_2/q_c)^{n/2} f_{n,2}(\theta, \nu_0 L/c, \nu_{ef}/\nu_0),$$

где $q_c = N_c mc^3 = (\omega_0^2 m^2 c^3 / 4\pi e^2)$ и

$$f_{n,2} \left(\theta, \frac{\nu_0 L}{c}, \frac{\nu_{ef}}{\nu_0} \right) = \frac{2(n^2 \cos^2 \theta - 1)^{2n-5/2}}{n\beta^2(n)(4\cos^2 \theta - 1)^{3n/4}} \left[\frac{\cos \theta}{\pi^2 \sin^2 \theta} \right]^{n/2-1} \times$$

$$\times \frac{[\ln(\sin\theta/2\sqrt{n^2\cos^2\theta-1}) + \gamma(n)]^2 + \pi^2/4}{\{[\ln(\sin\theta/2\sqrt{4\cos^2\theta-1}) + \gamma(2)]^2 + \pi^2/4\}n/2} \exp\{(\nu_0 L/c)[2g_n(\theta) -$$

$$- ng_2(\theta) + (n-2)\cos\theta + n(2\nu_{eF}/\nu_0 - 1)\sqrt{\cos^2\theta - 1/4} -$$

$$- 2(n\nu_{eF}/\nu_0 - 1)\sqrt{\cos^2\theta - 1/n^2}]\}.$$

Здесь следует заметить, что полученная зависимость q_n от q_2 отличается от обнаруженной на опыте /6/ при плотности потока излучения CO_2 -лазера вплоть до 10^{14} Вт/см². Кроме того, полученная нами зависимость подтверждает возможность использования принятой в /6/ масштабной зависимости q_n от $(q[2\nu_{eF}/\omega_0])^2$.

Полученные здесь закономерности характеризуют излучение n -ой гармоники из неоднородной плазмы, обусловленное резонансным полем в области критической плотности N_c .

Поступила в редакцию
19 февраля 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Г. Басов, В. Ю. Быченков, О. Н. Крохин, А. А. Рупасов, В. П. Силин, Г. В. Склизков, А. Н. Стародуб, В. Т. Тихончук, А. С. Шиканов, Препринты ФИАН № 196 и № 256, 1978 г.
2. Н. С. Ерохин, В. Е. Захаров, С. С. Моисеев, ЖЭТФ, **56**, 179 (1969); А. В. Виноградов, В. В. Пустовалов, ЖЭТФ, **63**, 940 (1972); N. S. Erokhin, S. S. Moiseev, V. V. Mukhin, Nuclear Fusion, **14**, 333 (1974); Н. С. Ерохин, С. С. Моисеев, Сб. "Вопросы теории плазмы", **7**, Атомиздат, М., 1973 г., стр. 146.
3. В. Ю. Быченков, В. П. Силин, В. Т. Тихончук, Физика плазмы, **3**, 1314 (1977).
4. Н. Г. Денисов, ЖЭТФ, **31**, 609 (1956).
5. А. Б. Владимировский, В. П. Силин, А. Н. Стародуб, Сб. Краткие сообщения по физике ФИАН № 12, 34 (1978).

6. H. A. Baldis, N. H. Burnett, P. Jaanimagi, G. D. Enright, M. C. Richardson, Доклад на XII Европейской конференции по взаимодействию лазерного излучения с веществом, М., декабрь 1978 г.
7. В. П. Силин, Доклад по подведению итогов XII Европейской конференции по взаимодействию лазерного излучения с веществом М., декабрь, 1978 г.