

РАСЧЕТ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛЕННОГО СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ С УЧЕТОМ РЕФРАКЦИИ

А.Г. Жидков, А.О. Терских, С.И. Яковленко

Проведены расчеты углового распределения интенсивности усиленного спонтанного излучения перехода 4-3 Н-подобного иона СаХХ ($\lambda = 47 \text{ \AA}$) в неоднородной плазме с учетом рефракции в геометрическом приближении. Показано, что угловое распределение существенно зависит от характера изменения показателей преломления.

Интерес к анализу углового распределения усиленного спонтанного излучения стимулирован исследованиями, направленными на достижение генерации на переходах многозарядных ионов в плазме, формируемой мощным лазерным импульсом.

Начиная с работ /1-4/ (критический анализ этих статей дан в /5/), появилось значительное число публикаций, в которых сообщается о достижении усиления на переходах Н- и Ne-подобных ионов. Во всех работах наблюдается отклонение роста интенсивности усиленного излучения с длиной от экспоненциального вдали от насыщения. Авторы объясняют это влиянием рефракции из-за неоднородного распределения плотности электронов /6/. В связи с этим представляется актуальным в развитие программ расчета коэффициентов усиления в разлетающейся плазме /5/, создание методов определения углового распределения усиленного спонтанного излучения с учетом рефракции.

В данной работе приведены расчеты, демонстрирующие влияние профиля показателя преломления на угловое распределение излучения. Для моделирования выбран переход 4-3 иона СаХХ (см. также /7/). Расчеты проводились для режима глубокого насыщения: ненасыщенный коэффициент усиления $\kappa^0_+ = 18,5 \text{ см}^{-1}$, коэффициент нерезонансных потерь $\kappa^0_- = 1 \text{ см}^{-1}$, активная среда — параллелепипед с длиной $L = 4 \text{ см}$ и стороной $\Delta L = 0,1 \text{ см}^*$. Решалось трехмерное уравнение переноса излучения методом "частицы в ячейке". Для этого активная среда разбивалась на N ячеек, которые случайным образом заполнялись частицами, движущимися по траекториям:

$$d(\vec{n}\vec{l})/dS = \text{grad}n, \quad d\vec{S}/dt = \vec{l}c,$$

где $n(\vec{r})$ — показатель преломления, c — скорость света, \vec{l} — касательный вектор к траектории частицы \vec{S} . Вес k -той частицы n_k определялся из уравнения

$$dn_k/dt = (\kappa^+ - \kappa^-)cn_k + Q_k,$$

где Q_k — спонтанное излучение, насыщенный коэффициент усиления κ^+ — определялся из нестационарного балансового уравнения для населенностей, учитывающего вклад в фотопереходы одновременно от всех частиц в ячейке (приближение среднего поля). В отсутствие рефракции угловое распределение, рассчитанное этим методом, хорошо согласуется с расчетами методом "функционала насыщения" /7/ (кривая 1 на рис. 1,2).

*) Метод предусматривает изменение апертуры с течением времени.

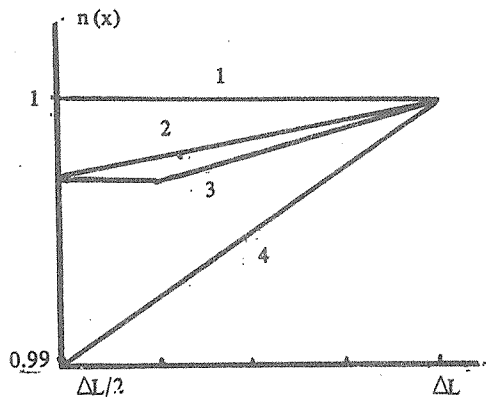


Рис. 1. Зависимость показателя преломления плазмы от координаты, ΔL — толщина активной среды.

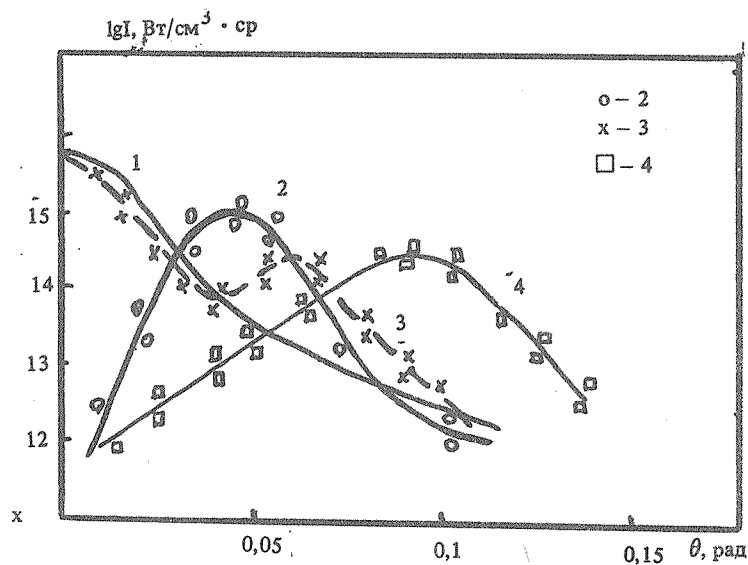


Рис. 2. Угловое распределение удельной интенсивности усиленного спонтанного излучения ($\lambda = 47 \text{ \AA}$) для различных зависимостей показателя преломления от координаты. Нумерация кривых на рисунках 1,2 совпадает.

Результаты расчетов углового распределения для различных распределений показателей преломления (рис. 1) иллюстрирует рис. 2. В отсутствие рефракции (кривые 1) расходимость излучения близка к геометрической. Для зависимостей показателя преломления (2), (4) усиленное излучение представляет собой кольцо с максимальной яркостью в угле $\theta_m = \sqrt{\Delta n}$ (вектор ∇n перпендикулярен оси усиления), где Δn — изменение показателя преломления (для варианта 2: $\Delta n = 3 \cdot 10^{-3}$, $\theta_m = 0,055$; для варианта 4 $\Delta n = 10^{-2}$, $\theta_m = 0,1$ рад). Ситуация радикально меняется, если $n(x)$ слабо меняется в центре (вариант 3), что характерно для лазерной плазмы. В этом случае распределение интенсивности имеет два максимума. Но хотя площадь области $n(x) = \text{const}$ составляет всего 6% от полной, яркость излучения в угол $\theta = 0$ на порядок превышает яркость в угол $\theta = \theta_m$.

Таким образом, расчеты показывают существенную зависимость углового распределения усиленного спонтанного излучения как от неоднородности плазмы уже на уровне $\Delta n \approx 10^{-3}$, так и от характера изменения показателя преломления по координате.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rosen M.D. et. al. Phys. Rev. Lett., 54, 106 (1985).
2. Suckewer S. et. al. Phys. Rev. Lett., 55, 1753 (1985).
3. Seely J.F. et.al. Opt. Comm., 54, 289 (1985).
4. Apruzese J.P. et al. Phys. Rev. Lett, 55, 1877 (1985).
5. Держиев В.И. и др. Препринт ИОФАН № 216, М., 1986; Квантовая электроника, 15, 412 (1988).
6. Matthews D.L., et.al. Journ. de Physique, 47, C6-1 (1986).
7. Держиев В.И. и др. Препринт ИОФАН № 254, М., 1987.