

"LAST" И "MEDUSA" — ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ПЛАЗМОЙ

Н. Е. Андреев, П. Карл,^{ж)} В. П. Силлин, Г. Л. Стенчиков

УДК 533.9

Проведенный численный эксперимент с помощью кода "LAST" — "MEDUSA" показал, что корректный учет процессов нелинейного поглощения лазерного излучения невозможен без детального учета мелко-масштабных гидродинамических и электромагнитных процессов, обусловленных силовым воздействием излучения на плазму.

Воздействие мощного электромагнитного излучения на плазму характеризуется целым рядом нелинейных явлений, требующих выработки и формулировки новых физических представлений [1,2]. В настоящей работе при моделировании нелинейного взаимодействия излучения с плазмой ставилась задача исследования пространственного перераспределения частиц, обусловленного ponderomotive силой, определяющейся как полем накачки, так и внутренним плазменным полем, при учете реалистического гидродинамического движения плазмы.

Для проблемы лазерного управляемого синтеза, наряду с ответом на вопрос о величине коэффициента поглощения греющего излучения, чрезвычайно важным является вопрос о перераспределении передаваемой плазме энергии между различными группами частиц [3]. Для ответа на эти вопросы нами используется кинетическое описание черенковского взаимодействия волны с частицами и исследуются особенности распределения электронов по скоростям

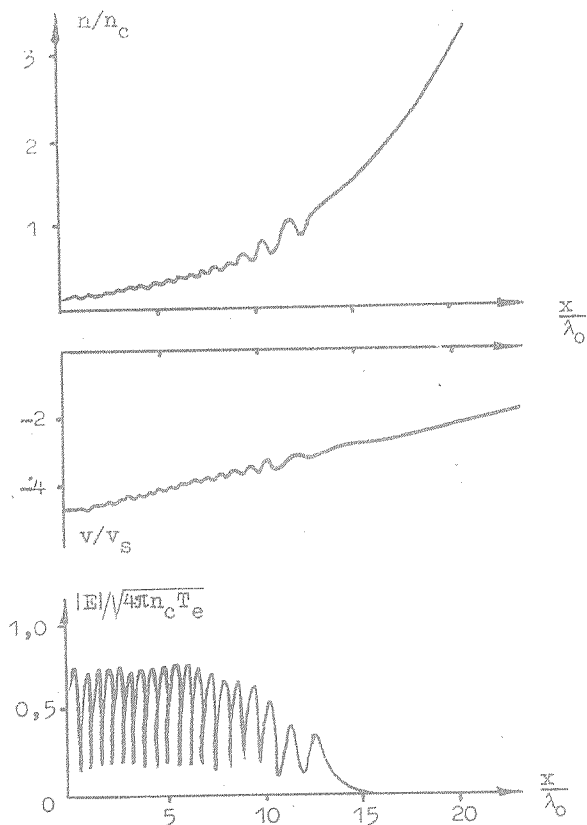
^{ж)} Центральный институт электронной физики АН, ГДР, г. Берлин.

для различных режимов течения вещества в окрестности критического значения плотности, определяемых глобальными закономерностями гидродинамического расширения плазменной короны мишени.

При численном моделировании полная система уравнений нелинейной электродинамики, гидродинамики и кинетики плазмы расщепляется в соответствии с различными физическими процессами.

Численная методика решения системы уравнений нелинейной плазменной электродинамики и кинетики, описывающей взаимодействие мощного излучения с веществом в окрестности критического значения плотности, реализована кодом "LAST" (Light Absorption by Strong Turbulence)/4/. В соответствии со схемой расщепления, на первом этапе явным методом квазивторого порядка точности с нелинейным сглаживанием на эйлеровой сетке решались уравнения гидродинамики. Пондеромоторная сила в гидродинамической подсистеме рассчитывалась по значениям поля на нижнем временном слое, а плотность ионов, необходимая для расчета поля, центрировалась по времени. На втором этапе с помощью неявной абсолютно устойчивой схемы второго порядка точности по времени и пространству рассчитывалась эволюция двухкомпонентного (р-поляризованного) электромагнитного поля без учета затухания Ландау. Разностные уравнения решались методом матричной прогонки. На третьем этапе с помощью быстрого преобразования Фурье рассчитывался вклад затухания Ландау в эволюцию электромагнитного поля. На четвертом этапе по спектру электрического поля определялся коэффициент диффузии в пространстве скоростей и методом потоковой прогонки рассчитывалась функция распределения электронов, ускоряемых вследствие черенковского взаимодействия с интенсивными ленгмювскими колебаниями. Анализ устойчивости и сходимости расчетов каждого физического процесса позволяет указать ограничение на шаг по времени, гарантирующий сходимость использованной схемы расщепления.

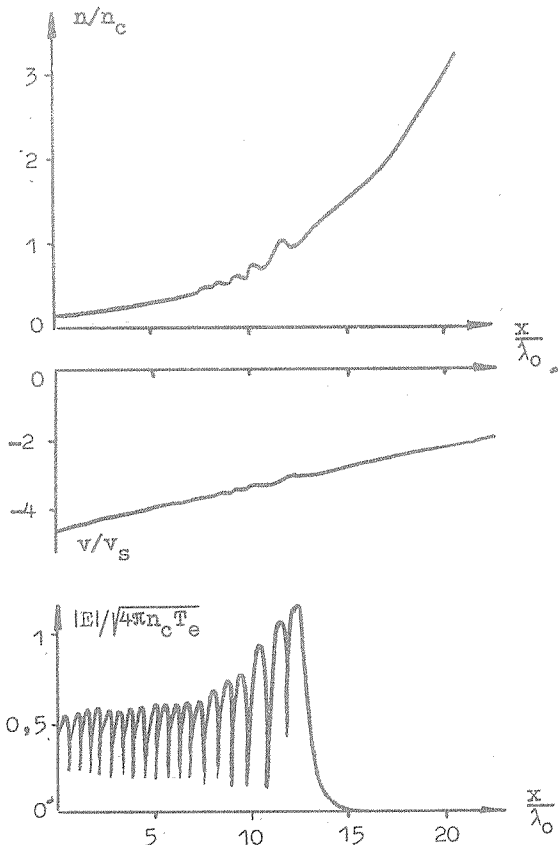
Численный код "LAST" предназначен для расчета поглощения мощного электромагнитного излучения в плазме и может использоваться как для исследования качественных эффектов, возникающих при взаимодействии мощного излучения с веществом, так и для включения в гидродинамические модели обжата лазерных мишеней такие, как "MEDUSA" /5/.



Р и с. 1. Пространственная структура плотности n , скорости $\vec{v}$ и электрического поля E в плазме при самосогласованном расчете с учетом силы Миллера ($\lambda_0 = 1,06$ мкм, $n_c = (\omega_0^2 m_e / 4\pi e^2 z)$ — критическая плотность ионов, $v_s = \sqrt{zT_e/M_1}$ — скорость звука)

С целью исследования воздействия мощного лазерного излучения на плазму мишени при адекватном описании физических процессов поглощения и излучения в окрестности критической плотности в реальных условиях разлета плазмы был проведен совместный численный эксперимент "LAST" — "MEDUSA". Поглощение лазерной энергии определялось в результате детального учета электромагнитных и мелкомасштабных гидродинамических процессов в окрестности

критической точки, с помощью кода "LAST", а гидродинамические граничные условия, ионная и электронная температуры для малой области поглощения определялись "крупномасштабной" гидродинамикой разлета, рассчитываемой с помощью кода "MEDUSA".



Р и с. 2. Пространственная структура плотности n , скорости v и электрического поля E без учета действия пондеромоторной силы (через 5 пс после выключения силы Миллера)

Результаты первых численных экспериментов, проведенных для s -поляризованного излучения, показывают, что самосогласованное поглощение энергии неодимового лазера при плотности потока энер-

гии $5 \cdot 10^{14}$ Вт/см² и длительности импульса ~ 100 пс составляет величину порядка 30% (для мишени с $z_{\text{эф}} \sim 6$) и колеблется во времени в соответствии с эволюцией профиля электрического поля и профиля плотности плазмы. Отчетливо наблюдается (см. рис. 1) эффект самоограничения поля /6/ в режимах, когда относительная скорость протекания плазмы через область критической плотности близка к звуковой. Уменьшение напряженности электромагнитного поля при приближении к критической точке приводит к уменьшению поглощения и является следствием детального учета реакции сверхзвукового потока на действие пондеромоторной силы. Этот важный эффект, разумеется, не может быть описан, если недостаточно полно учитывать мелкомасштабную структуру гидродинамического течения и нелинейную электродинамику в области поглощения (ср. с /7/). Для того, чтобы выделить определяющую роль пондеромоторной силы в процессе поглощения, был проведен расчет с отключением силы Миллера. После отключения пондеромоторной силы происходило выравнивание профиля плотности и исчезал эффект самоограничения поля. При этом в области критической плотности напряженность поля возрастала (см. рис. 2), что приводило к росту поглощения до величины порядка 60%, слабо меняющейся со временем.

Таким образом, совместный численный эксперимент "LAST" - "MEDUSA" показал, что корректный учет процессов нелинейного поглощения лазерного излучения в плазме невозможен без детального учета мелкомасштабных гидродинамических и электромагнитных процессов в окрестности критической плотности плазмы и чрезвычайно важен для правильного описания энергетики и гидродинамики обжата мишеней.

Поступила в редакцию
15 мая 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Е. Андреев, В. П. Силин, Физика плазмы, 4, 908 (1978).
2. Н. Е. Андреев, В. П. Силин, Г. Л. Стенчиков, ЕЭФ, 78, 1396 (1980); Physica, 2D, 146 (1981).
3. Н. Е. Андреев, В. П. Силин, Г. Л. Стенчиков, Письма в ЕЭФ, 28, 533 (1978).

4. Н. Е. Андреев, В. П. Силин, Г. Л. Стенчиков, Препринт ФИАН № 89, М., 1980 г.; в сб. Взаимодействие сильных электромагнитных волн с бесстолкновительной плазмой, изд. ИФФ АН СССР, г. Горький, 1980 г.
5. J. P. Christiansen, D. E. T. F. Ashby, K. V. Roberts, Comp. Phys. Com., 7, 271 (1974).
6. Н. Е. Андреев, и др., Письма в ЖЭТФ, 31, 639 (1980);
Н. Е. Андреев, В. П. Силин, П. В. Силин, ЖЭТФ, 79, 1293 (1980);
N. E. Andreev et al., Phys. Lett. 82A, 177 (1981).
7. A. Montes, O. Willi, Laser Division Annual Report, Rutherford lab., Chilton, RL-80-026, p. 7-16 (1980).