Пространственные и спектральные характеристики релятивистского поля плазменного резонанса

И.И. Метельский1, В.Ю. Быченков1, В.Ф. Ковалёв2

1Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия, metelski@lebedev.ru
2Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

Явление плазменного резонанса, заключающееся в возрастании потенциального электрического поля в окрестности критической плотности плазмы, вызывает фундаментальный и прикладной интерес, поскольку рассматривается в качестве возможного механизма генерации гармоник [1], резонансного поглощения и образования быстрых частиц в лазерной плазме [2]. Стационарная структура резонансно усиленного плазменного поля в линейном приближении впервые была изучена в работе [3]. С достигнутыми на сегодняшний день высокими интенсивностями лазерного излучения возникает необходимость учета нерелятивистских и релятивистских нелинейных эффектов при рассмотрении динамики электронной компоненты плазмы. Аналитические исследования стационарных нерелятивистских плазменных колебаний в окрестности критической плотности в задачах о генерации гармоник при взаимодействии p-поляризованного лазерного излучения с неоднородной плазмой проводились как при малых амплитудах плазменного поля в рамках теории возмущений [1], так и в сильно нелинейном режиме [4]. Для релятивистских плазменных колебаний, изучение которых проводилось, в основном, методами численного моделирования [5] или с использованием полуаналитических моделей [6], обсуждался нестационарный режим возбуждения, что не способствует применению полученных решений для стационарных задач поглощения лазерного излучения и генерации гармоник в области плазменного резонанса. В этой связи является актуальным развитие стационарной аналитической теории релятивистского плазменного резонанса.

В представленной работе получено новое стационарное решение нелинейных уравнений, описывающих динамику электронов и пространственно-временную структуру плазменного поля в окрестности резонанса с учетом релятивистской нелинейности. Аналитическое построение ведется в рамках гидродинамического приближения с применением метода ренормгрупповых симметрий, который позволил получить, наряду со стационарным, также и нестационарное решение, аналогичное решениям, получаемым в рамках моделей [5, 6]. Найдены пространственно-временные распределения потенциального плазменного поля и продольной скорости электронов, а также получен степенной закон спадания амплитуд гармоник резонансно усиленного электрического поля, являющийся следствием эффекта фазовой модуляции колебаний электронов. Исследовано влияние релятивистской нелинейности на поглощение энергии лазерного излучения в окрестности резонанса и определены границы применимости используемой модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 15-02-03042 А, № 14-02-31407-мол\_а,).

Литература

1. Ерохин Н.С., Захаров В.К., Моисеев С.С. ЖЭТФ, 1969, 56, № 1.
2. Bulanov S.V., Kovrizhnykh L.M., Sakharov A.S., Sov. Phys. JETP, 1977, 45 № 5.
3. Денисов Н.Г. ЖЭТФ, 1957, 31, № 3.
4. Ковалев В.Ф., Пустовалов В.В. ТМФ, 1988, 81 № 1.
5. Милютин С.В., Фролов А.А., Чижонков Е.В., Вычислительные методы и программирование, 2013, 14.
6. Bulanov S.V., Naumova N.M., Pegoraro F., Phys Plasmas, 1994, 1 (3).