

## Аннотация к циклу работ

### «Кинетическое описание систем с захватами в резонанс и рассеяниями на резонансе»

1. Авторы: А. В. Артемьев, А. А. Васильев, А. И. Нейштадт.
2. Цикл состоит из двух статей: “Kinetic equation for nonlinear resonant wave-particle interaction” и “Probabilistic approach to nonlinear wave-particle resonant interaction”.
3. Ссылки:

A. V. Artemyev, A. I. Neishtadt, A. A. Vasiliev, and D. Mourenas, *Kinetic equation for nonlinear resonant wave-particle interaction*, PHYSICS OF PLASMAS 23, 090701 (2016)

A. V. Artemyev, A. I. Neishtadt, A. A. Vasiliev, and D. Mourenas, *Probabilistic approach to nonlinear wave-particle resonant interaction*, PHYSICAL REVIEW E 95, 023204 (2017)

4. Общая формулировка проблемы: получить кинетическое уравнение типа уравнения Фоккера-Планка для системы частиц, которые многократно проходят через резонанс с волнами высокой интенсивности. При каждом прохождении частица может быть рассеяна, что приводит к малому случайному изменению энергии, или с некоторой малой вероятностью захвачена в резонанс с последующим выбросом, что приводит к быстрому существенному изменению энергии. Хотя явления, происходящие при единичном прохождении через резонанс, подробно изучены, адекватное описание эволюции функции распределения (кинетическое уравнение) для такой системы до настоящего времени отсутствовало.
5. В первой работе рассматривается простейшая модельная задача, в которой время между последовательными прохождениями через резонанс не зависит от энергии частицы. Тем не менее, уже в такой системе прослеживаются основные свойства систем данного типа. Полученное аналитически кинетическое уравнение с хорошей точностью подтверждается численно (методом пробных частиц). В отличие от классического диффузионного уравнения Фоккера-Планка, применимого для описания систем с волнами малой амплитуды, полученное уравнение содержит нелокальные слагаемые, описывающие быстрый перенос частиц в пространстве энергии за счёт захвата в резонанс с интенсивными волнами. Во второй работе методы и подходы, развитые в первой статье, применяются к более реалистичной физической системе. Рассматриваемая система описывает динамику ансамбля заряженных частиц в неоднородном магнитном поле и поле электростатической волны, распространяющейся вдоль силовых линий магнитного поля. Такого рода системы возникают во многих задачах физики плазмы. В этом случае время между последовательными прохождениями частицы через резонанс зависит от энергии частицы, что приводит к некоторому усложнению окончательного кинетического уравнения. Численное моделирование подтверждает справедливость полученного аналитически уравнения.
6. Как было известно, среднее значение изменения энергии при рассеянии на резонансе, вообще говоря, не равно нулю. Оказывается, что в рассматриваемых системах имеет место определенный энергетический баланс: при захватах небольшая часть частиц сильно изменяет (например, набирает) свою энергию, а за счет рассеяний происходит малое изменение энергии большого числа частиц с противоположным знаком. Наш подход основан на полученной нами впервые формуле, которая связывает среднюю скорость дрейфа за счет рассеяний с вероятностью захвата, и тем самым учитывает такой баланс. Насколько нам известно, ранее подобное соотношение получено не было. Окончательная форма кинетического уравнения, которое учитывает как рассеяния, так и захваты, также не была ранее известна.
7. Полученные результаты имеют весьма общий характер и могут применяться к разнообразным задачам физики плазмы. Полученное кинетическое уравнение представляет собой новый фундаментальный результат, важный как для физики плазмы, так и вообще для исследований динамических систем, в которых имеют место нелинейные резонансные явления рассеяния и захвата. Описание эволюции функции распределения с помощью кинетического уравнения намного эффективнее численных расчетов, производимых непосредственно для большого количества частиц на основе уравнений движения.