

БИБЛИОГРАФИЯ

533,95(049,3)

**ВВЕДЕНИЕ В НЕЛИНЕЙНУЮ ФИЗИКУ ПЛАЗМЫ**

**Б. Б. Кадомцев** Коллективные явления в плазме. М., «Наука» (Главная редакция физико-математической литературы), 1976, 238 с.

«Физика принадлежит к числу точных наук, однако приближенные соотношения и даже просто качественные соображения играют в ней не меньшую роль, чем точные количественные формулировки. Иногда качественные соображения даже более нужны, поскольку они, развивая физическую интуицию, позволяют быстро достичь понимания таких явлений, количественное описание которых потребовало бы гораздо больших усилий».

Эти слова автора рецензируемой книги (с. 81) отражают ее стиль. Книга одного из крупнейших специалистов по физике плазмы Б. Б. Кадомцева («Коллективные явления в плазме») — не энциклопедия формул, уравнений или методов исследования. Главная ее цель — познакомить читателя с физикой сложных и подчас «изумительно красивых» явлений, наблюдаемых в плазме. Глубокое понимание процессов, происходящих в плазме, позволяет автору описать их кратчайшим путем, используя наглядные физические образы. Благодаря этому в небольшом объеме — 230 страниц — охвачен весьма широкий круг явлений, составляющих основы нелинейной физики плазмы.

В небольшой первой главе рассматриваются особенности поведения плазмы как целого в установках с магнитным полем — асимметрия равновесного распределения плазмы в тороидальных системах типа токамака, возникновение вращения в  $\theta$ -пинчах при небольших перекосах магнитного поля, распад плазмы вследствие тороидального дрейфа. Выбранные автором примеры относятся к числу четко наблюдаемых экспериментально эффектов и их объяснение служит хорошей иллюстрацией отличия двух подходов к плазме с точки зрения одножидкостной и двухжидкостной магнитной гидродинамики.

Изложение теории линейных волн в плазме (гл. 2), по которой написано множество теоретических работ и уже имеется несколько монографий, в книге Кадомцева отличается свежестью подхода. Изячно выведя дисперсионные соотношения для магнитогидродинамических волн, автор показывает на примере гравитационных волн в воде (уместно упомянув при этом о совете классика: «Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые»), как, зная дисперсию волн, можно объяснить особенности их распространения. В этой же главе читатель наряду с «бесстолкновительным» затуханием Ландау узнает о волнах Ван-Кампена (они же баллистические моды, или модулированные пучки), о физическом смысле волн с отрицательной энергией, о привлекающих в последнее время все больший интерес особенностей систем с непрерывным спектром колебаний.

Первые две главы книги — это как бы введение к основному ее содержанию, заключенному в гл. 3—5, посвященных собственно нелинейным явлениям. Здесь особенно ярко проявилась способность автора увидеть физику явления, выразить ее наглядно, используя для описания минимум количественных соотношений. И если в большинстве книг по теории плазмы основное внимание уделяется формальным выводам, то здесь на первый план выступает объяснение «на пальцах», вскрывающее самую суть явления.

Для иллюстрации этой особенности книги Б. Б. Кадомцева обратимся прежде всего к одному из наиболее интересных явлений физики нелинейных волн — самоожатии (модуляционной неустойчивости) волновых пакетов. Еще совсем недавно — каких-нибудь лет 12 тому назад — представление об этом явлении не было достоянием физики и разве что входило в систему взглядов поэтов и художников-маринистов под названием «девятый вал». Существование этого явления и его общность автор показывает, исходя из простых фазовых соотношений теории волн и качественных

соображений типа закона сохранения энергии, применяемых к нелинейным волнам в средах с дисперсией (гл. 3, § 3). В результате очень просто и в то же время убедительно получается критерий Лайтхилла модуляционной неустойчивости волн (из которого применительно к гравитационным волнам на глубокой воде и следует явление «девятого вала»). Этот критерий в точности совпадает с тем, который, как показано в том же § 3 гл. 3, следует из так называемого нелинейного параболического уравнения теории дифракции. Далее автор применяет критерий Лайтхилла к плазменным (ленгмюровским) волнам, подробно рассматривая для этого их дисперсию и механизм нелинейности, обусловленной «силой Миллера» (выталкивание электронов высокочастотным полем волнового пакета). При этом обнаруживается наиболее интересное следствие модуляционной неустойчивости ленгмюровских волн — существование так называемых ленгмюровских солитонов («солитоны огибающих»). Последние играют принципиальную роль в современной «идеологии» сильной плазменной турбулентности.

Следует отметить, что все рассмотренное занимает единичные страницы и является собой пример того высокого мастерства изложения сложных физических вопросов, которое характерно для всей книги.

Другой пример — солитоны «мелкой воды» (также результат взаимодействия нелинейности с дисперсией), возникающие как в весенних ручейках, так и в ионно-звуковых и магнитозвуковых волнах в плазме. Существование их также обосновывается с помощью качественного рассмотрения. Еще один пример — знаменитый эффект Ганна из, казалось бы, совершенно «чужой» области физики полупроводников. Этот эффект широко обсуждается в связи с его применением к технике генерирования микро-волн. В монографии Кадомцева показано (гл. 3, § 2), что электрические домены Ганна — это «все те же» солитоны! Желание (и умение) автора показать, как общие законы «действуют» в различных областях физики — от «девятого вала» до эффекта Ганна — ценное достоинство книги.

В монографии, кроме рассмотренных, есть и другие «изюминки». Очень педагогично, с общезначимой точки зрения, изложено тонкое и, действительно, поразительное явление эха в плазме — появление вновь словно бы уже исчезнувшего, распавшегося первоначального сигнала.

В главе пятой, посвященной турбулентности плазмы, автор рассказывает о физике наиболее существенных неустойчивостей, наблюдаемых в плазме: гидромагнитных, дрейфовых, кинетических, параметрических. В доступной форме изложены основы квазилинейной теории надкритического состояния плазмы и теории слабой турбулентности, теории коллапса ленгмюровских волн. Здесь же описаны наиболее яркие проявления плазменной турбулентности — аномальное сопряжение плазмы, вызываемое возбуждением ионнозвуковых колебаний, желобковая турбулентность в открытых магнитных ловушках, турбулентность диффузного пинча, приводящая к концентрации магнитного потока внутри пинча. Многие из излагаемых проблем теории турбулентности были поставлены и решены автором книги, который, как известно, одним из первых проник в дебри сложных нелинейных процессов в плазме и, обьявив ряд наблюдаемых экспериментально явлений, вселил уверенность в их познаваемость. Заканчивается глава рассмотрением интересной общей проблемы бесстолкновительной релаксации кулоновски взаимодействующих систем частиц без возбуждения коллективных степеней свободы.

В книге Кадомцева нет скучных, серых мест. Она знакомит читателя с наиболее значительными, в том числе и самыми новейшими достижениями физики нелинейных явлений. Поэтому она безусловно интересна и полезна для всех, кто работает в области физики плазмы или хотя бы интересуется ею. Но это не значит, что она всюду легка для чтения. В некоторых местах явно чувствуется чрезмерная скатость изложения и, как нам кажется, переоценка уровня читателя, на которого рассчитана книга, являющаяся, по замыслу, введением в круг представлений о коллективных явлениях в плазме. Некоторые из очевидных автору соображений не всем покажутся очевидными. Часто для полной ясности не хватает буквально нескольких фраз. Это относится, в частности, к такому принципиальному вопросу, как затухание Ландау. В самом деле, изложение этого вопроса (проведенное, как уже указывалось, весьма обстоятельно и с большим мастерством) заканчивается на том, что при увеличении амплитуды ленгмюровской волны затухание Ландау исчезает. В этом месте у читателя может возникнуть вопрос: почему же тогда затухание Ландау играет фундаментальную роль в тех (заведомо достаточно сильных) реальных волнах, которые расквашиваются в условиях сильной плазменной турбулентности? Вот здесь как раз и не хватает небольшого пояснения (которое, как это ни странно, отсутствует и в других книгах по плазме): в условиях плазменной турбулентности колебания плазмы представляют собой набор волн с достаточно большим разбросом фазовых скоростей, и поэтому захват частиц каждой из волн оказывается настолько кратковременным, что не влияет на ее затухание. (Было бы совсем хорошо, если бы это пояснение было дополнено простым качественным критерием). Другой пример: при объяснении явления эха с помощью оптических расстрой не указана явно причина нелинейности. Вероятно,

стоило бы также оттенить физический смысл энергетического порога модуляционной неустойчивости газа плазмонов (при отсутствии такого порога у «монохроматической» волны), отличие распадных процессов от параметрических, а также точный смысл важного понятия «пересечение траекторий».

В рецензии трудно и вряд ли уместно перечислять все те места, изложение которых желательно было бы с нашей точки зрения улучшить. Книга, несомненно, вызовет незабываемое эхо в среде физиков всех рангов и ту «обратную связь», которая позволит автору учесть запросы читателей.

*М. В. Незлин, В. Д. Шафранов*