

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКБИБЛИОГРАФИЯ

Б33.9(049.3)

**МОНОГРАФИЯ О ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЕ**

**С. Ю. Лукьянов.** Горячая плазма и управляемый ядерный синтез. М., «Наука», 1975, 407 с.

В настоящее время значение исследований горячей плазмы сильно возросло, и их успехи находят применение в различных областях современной науки: в квантовой электронике, радиофизике, астрофизике, химии и т. д. В связи с этим книга, написанная С. Ю. Лукьяновым, по значимости изложенных в ней результатов выходит за пределы проблемы управляемого термоядерного синтеза. С. Ю. Лукьянов принимал непосредственное участие в широком круге экспериментов на протяжении всего времени становления и развития физики горячей плазмы. Актуальность этой задачи широко известна, а различные ее аспекты прекрасно освещены в первой главе рецензируемой книги.

Наука о горячей плазме, зародившись 25 лет назад, в настоящее время продолжает бурно развиваться, а количество публикаций по различным относящимся к ней вопросам выражается пятизначным числом. Отсюда ясно, что найдется не так много ученых, которые взяли бы на себя труд написать книгу с изложением основных направлений, проблем и результатов этой науки. Действительно, из серии трудов, близких к данному по кругу затронутых вопросов, можно назвать лишь известные книги Л. А. Арцимовича и Д. Роуза и Н. Кларка. Однако сведения по ряду вопросов, содержащихся в них, требуют существенных дополнений, так что появление данной книги является весьма своевременным.

Первая глава является вводной, и автор убедительно и с присущим ему динамизмом и яркостью показал неоспоримое преимущество систем, основанных на ядерном синтезе легких элементов, по сравнению с такими обсуждаемыми в настоящее время системами, как бридеры, пикноядерные реакторы и т. д. Основное содержание книги можно условно разделить на три части: общие вопросы физики плазмы, диагностика и термоядерные установки. По каждому из этих вопросов в настоящее время имеются прекрасные обзорные статьи и монографии. Для примера можно назвать серию книг «Вопросы теории плазмы» под редакцией М. А. Леонтовича, монографию В. П. Силина «Кинетическая теория газов», книгу «Электродинамика плазмы» коллектива украинских авторов под редакцией А. И. Ахиезера, труды по диагностике плазмы под редакцией Р. Хаддлстоуна, М. Леонарда и В. Лохте-Хольтгревена и т. д. Будучи достаточно исчерпывающими на сегодняшний день по тем специальным вопросам, которые в них рассматриваются, эти книги однако рассчитаны на хорошо подготовленного читателя, и не могут служить введением в науку о горячей плазме хотя бы из-за своего объема.

Постановка задачи, изложенная также в первой главе, завершается параграфом об основных направлениях исследований в области управляемого термоядерного синтеза. Очевидным упущением этого раздела, в котором признается сам автор, является отсутствие анализа возможностей получения управляемой термоядерной реакции с помощью релятивистских пучков заряженных частиц и электростатического удержания, а также исследования высокочастотных методов нагрева плазмы.

Главы II—V посвящены поведению плазмы в электрических и магнитных полях. Большой педагогический опыт автора позволил ему в максимально сжатой форме изложить основные гидродинамические и кинетические плазменные эффекты, причем обширный графический материал способствует ясности физических представлений о рассматриваемых вопросах.

Раздел книги (главы VI—VIII), описывающий различные диагностические методы исследования плазмы, является наиболее полным и глубоким. Это безусловно связано с тем, что С. Ю. Лукьянов известен своими пионерскими работами в этой области, и ему принадлежит ряд оригинальных методов исследования плазмы, с помощью которых им вместе с сотрудниками ИАЭ им. И. В. Курчатова была получена

серия фундаментальных результатов по диагностике плазмы импульсных систем. Привязанность автора к пассивным методам диагностики вполне понятна и оправдана. (Здесь вступает в силу своеобразное проявление принципа дополнительности — активное «вторжение» искажает «жизнь» плазменного объекта, а сведения, получаемые «сторонним наблюдателем», носят ограниченный характер.) Однако и основные активные методы диагностики изложены автором исчерпывающе и с возможной в книге столь широкого профиля полнотой. Следует здесь отметить два обстоятельства. Прежде всего, несмотря на то, что ряд классических плазменных методик (электротехнические и зондовые) в настоящее время все больше отходят на второй план, все же при запуске любой современной крупной установки их роль трудно переоценить. Далее, по мере приближения к термоядерным условиям все большее значение будет иметь не анализ излучения и частиц плазмы, а исследование продуктов реакции синтеза. Поэтому все изложение диагностического раздела проведено с учетом этой перспективы.

Самой сложной задачей (как с эвристической, так и с точки зрения научной политики) в обзорной книге по горячей плазме является задача сравнительного анализа существующих в настоящее время экспериментальных направлений. Это сложно потому, что исследования, связанные даже с тем ограниченным кругом систем, которые существуют в настоящее время, весьма бурно развиваются, и ситуация меняется с каждым днем. Это трудно и потому, что установки на данном этапе становятся все более крупными и дорогостоящими, и однозначное определение точки приложения « $10^{10}$  долларов и  $10^6$  человеко-лет» свидетельствовало бы об отсутствии у автора необходимой осторожности. Вместо этого в книге дано объективное изложение успехов и неудач, «пропастей, стен и лабиринтов», связанных с каждым направлением. Эта часть книги наиболее полезна как широкому кругу экспериментаторов, так и, в особенности, теоретикам, которым она дает возможность познакомиться с экспериментальными на бышинстве современных термоядерных установок, описанными в высокоинформативном, деловом и конкретном стиле.

Укажем на ряд неточностей, допущенных в книге. Имеется некоторая путаница в определениях. То, что в книге названо «обыкновенной» и «необыкновенной» волнами, обычно принято называть при  $k \parallel B$  в правополяризованной и левополяризованной волнами. Приведенные же термины употребляются в случае соответственно  $E \parallel B$  и  $E \perp B$ , причем используются они в некотором смысле противоположно тому, как это делается в оптике. Соответственно, все изложение раздела о гибридных частотах относится к необыкновенной волне.

Имеется несколько неудачных на наш взгляд мест при изложении стеллараторной программы и лазерного термояда. Так, не ясны из текста преимущества и недостатки стелларатора по сравнению с токамаком; в описании схемы лазерного термоядерного синтеза не принимается во внимание захват мишенью нейтронов и  $\alpha$ -частиц, из-за чего цифра для требуемой энергетики получается сильно завышенной; не подчеркнуто, что, так как при взрыве облучаемая лазером мишень находится в вакууме, то ударная волна, которая производит основные разрушения при взрыве в атмосфере, здесь не возникает. Основное воздействие на первую стенку осуществляют импульсы давления от разлетающейся плазмы и нейтронный поток, которые при диаметре камеры порядка 1 м серьезной опасности не представляют.

Кроме этого, как нам кажется, следовало бы упомянуть о достигнутой к настоящему времени степени сжатия сплошных и полых (в ФИАНе, KMS, Ливерморе) мишеней, что является в настоящее время *ex regimentum cuspis* в программе лазерного термояда.

Оценка энергии лазера, необходимой для осуществления термоядерной реакции с положительным выходом, проведена без учета возможности осуществления в мишени термоядерной волны горения (детонации). Все современные расчетные схемы, разработанные в рамках программы управляемого термоядерного синтеза, строятся следующим образом. После окончания процесса кумуляции и осуществления начального инициирования реакции в центре сферической (или цилиндрической) мишени плотность и размеры окружающей эту зону плазмы оказываются такими, что в ней осуществляется полный захват  $\alpha$ -частиц и частичный захват нейтронов (необходимые плотность и размер мишени:  $\rho R = 0,15$  и  $\rho R = 8$  соответственно). Благодаря этому обстоятельству, как показали численные расчеты, на уровне энергий лазера порядка  $10^4$ — $10^6$  дж «коэффициент усиления», т. е. отношение выделившейся термоядерной энергии к поглощенной лазерной, достигает величины порядка  $10^2$ — $10^3$ .

К сожалению, книга содержит огромное, поистине удручающее количество опечаток в тексте.

Выразим надежду, что следующие издания будут свободны от перечисленных недостатков, которые, в общем, не снижают впечатления от этой весьма нужной и полезной книги. Несмотря на то, что автор адресует свой труд научной молодежи, с ним безусловно будет полезно познакомиться и специалистам, работающим над проблемой управляемого термоядерного синтеза.

В. А. Грибков, Т. И. Филиппова

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. А р ц и м о в и ч, Управляемые термоядерные реакции, М., Физматгиз, 1961
2. Д. Р о у з, М. К л а р к, Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции, М., ИЛ, 1962.
3. В. П. С и л и н, Введение в кинетическую теорию газов, М., «Наука», 1971.
4. Вопросы теории плазмы, под ред. М. А. Леонтовича, вып. 1—9, М., Атомиздат.
5. А. И. А х п е з е р, И. А. А х и з е р, Р. В. П о л о в и н, А. Г. С и т е н к о, К. Н. С т е п а н о в, Электродинамика плазмы, М., «Наука», 1974.
6. Диагностика плазмы, под ред. Р. Хаддлстоуна и С. Леонарда, М., «Мир», 1967.
7. Методы исследования плазмы, под ред. В. Лохте-Хольтгревена, М., «Мир», 1971.