

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКБИБЛИОГРАФИЯ

019.941:533.9

В. Е. Голант. Сверхвысокочастотные методы исследования плазмы, М., «Наука», 1968, 327 с.

Сверхвысокочастотные методы и приборы исследования плазмы в настоящее время являются одним из главных инструментов изучения состояния ионизованного газа. Широко развитое экспериментальное исследование плазмы, связанное со многими важными проблемами и применениями (в числе которых проблема управляемого термоядерного синтеза, методы прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, плазменные двигатели, плазменная химия, астрофизические проблемы), привело к разработке большого комплекса специальных экспериментальных методов и измерительных приборов, составляющих отдельное направление технической физики, с установившимся названием «диагностика плазмы». Среди активных методов диагностики лабораторной плазмы сверхвысокочастотные методы в настоящее время находят самое широкое распространение.

Интерес физиков-экспериментаторов к сверхвысокочастотным способам исследования плазмы продолжает возрастать в связи с тенденцией повышения точности измерения таких плазменных параметров, как концентрация электронов и частота столкновений заряженных частиц, изучения структуры плазменных образований, прямых наблюдений неустойчивого состояния плазменного шнура. Сравнительная простота изготовления экспериментальных приборов, отсутствие прямого контакта с плазмой являются существенными преимуществами методов СВЧ. О популярности их можно судить по значительно возросшему количеству работ с применением этих методов или посвященных их разработке. На восходящей ветви развития находятся СВЧ методы, основанные на изучении процессов рассеяния радиоволн. По характеристикам рассеянных волн можно получить информацию о флуктуациях концентрации электронов, пространственном распределении плотности частиц, неустойчивости плазменных образований, турбулентном состоянии плазмы и прочих характеристиках ее.

Значительное внимание в настоящее время обращено и на пассивные методы исследования плазмы, главным образом на получение достоверной информации о температуре плазмы по ее тепловому излучению, и другие данные. Например, ряд опытов свидетельствует о возможностях исследования неустойчивости плазмы по ее нетепловому излучению.

Применение сверхвысокочастотных методов диагностики плазмы потребовало от физиков-экспериментаторов многих сведений из области пограничных дисциплин — распространения радиоволн в протронных средах, приборов сверхвысоких частот, методов СВЧ измерений, знания современного состояния развития техники миллиметровых волн, антенной техники. Информация по всем этим вопросам содержалась в большом количестве советских и иностранных журнальных статей.

Первая попытка обобщения журнального материала по сверхвысокочастотным методам исследования плазмы<sup>1</sup> вызвала к жизни монографию В. Д. Русанова, посвященную современным методам исследования плазмы<sup>2</sup>, как дополнение к известной книге академика Л. А. Арцимовича<sup>3</sup>.

Некоторые из видов аппаратуры, используемой в диагностической практике, были описаны в<sup>4</sup>. Несмотря на имеющиеся книги, потребность в монографии, широко обобщающей сверхвысокочастотные способы изучения плазмы, постоянно чувствовалась.

В 1968 г. издательство «Наука» выпустило рецензируемую монографию В. Е. Голанта, в которой дано систематическое описание сверхвысокочастотных методов исследования плазмы. В отличие от изданной ранее переводной книги «Микроволновая диагностика плазмы» М. Хилда и С. Уортона, монография В. Е. Голанта обобщает в основном работы советских физических лабораторий.

Книга с интересом воспринимается специалистами, занимающимися изучением физики плазмы, и содержание ее в некоторой мере отвечает современным запросам

экспериментаторов. Автор не претендует на полный охват «всех вариантов и модификаций методов», но предполагает рассмотрение методов, являющихся основными и наиболее перспективными.

Ценность книги в значительной степени повышается тем обстоятельством, что автор ее сам внес существенный вклад в методы исследования плазмы, опубликовав большое количество оригинальных работ. Подробное ознакомление с рецензируемой книгой, показывает, что автору удалось в доступной форме изложить сложные теоретические вопросы и рекомендовать расчетные формулы для оценки исследуемых явлений. Есть еще немаловажная деталь. В книге чувствуется забота о читателе. Изложение материала, особенно теоретических вопросов, ведется в виде справочно-пояснительных экскурсий, освещающих основную суть дела. Выводы уравнений по наиболее узловым вопросам и понятиям приводятся в обширном приложении (в конце книги).

Весьма ценным свойством книги В. Е. Голанта, придающим ей монографический характер, является совместное изложение теоретического и экспериментального материала, включая вопросы интерпретации результатов физических исследований.

Книга состоит из двух частей. Первая, озаглавленная «Методы сверхвысокочастотного зондирования», состоит из восьми глав. Гл. 1—2 содержат краткие сведения, необходимые специалисту для понимания процессов взаимодействия радиоволн с плазмой. Рассмотрение ведется под углом зрения условий, сопутствующих измерительной практике использования СВЧ методов. Достаточно четко излагаются вопросы распространения волн в однородной и неоднородной, анизотропной и гиротропной плазме. Детально рассмотрены механизмы отражения радиоволн от плазмы, поглощения вблизи электронного циклотронного резонанса.

Гл. 3—5 содержат в основном описание способов применения СВЧ аппаратуры в эксперименте, методик интерпретации результатов измерений. Название глав и построение параграфов в них ведется в основном в аппаратурной классификации. Значительное внимание уделено резонаторным и волноводным СВЧ методам. Часть методов, описываемых в гл. 3—5, непосредственно апробировано В. Е. Голантом с сотрудниками в Физико-техническом институте имени А. Ф. Иоффе АН СССР. Это позволило автору ввести в книгу конкретные рекомендации по способам СВЧ измерений, освободиться от общих методических повествований. Следует, однако, заметить, что гл. 3, содержащая методы зондирования плазмы направленными волнами, выглядит несколько сокращенной, а менее актуальным — резонаторным (гл. 4) и волноводным (гл. 5) методам — уделено значительное внимание. Не совсем удачно изложен вопрос применения СВЧ фазометрических систем для диагностики плазмы. В частности, осциллограмма изменения фазы, приведенная в гл. 3 на рис. 32 рецензируемой книги, имеет большее отношение к работам, изложенным, например, в<sup>5-6</sup>, чем к описываемому интерферометру.

Гл. 6—7 посвящены довольно актуальным в настоящее время вопросам использования нагрева электронов полем СВЧ при изучении плазмы и рассеянию волн на плазменных флуктуациях. Над использованием этих явлений для диагностики плазмы, особенно с применением счетно-решающих устройств, задумываются в настоящее время многие физики-диагностки. Читатель встретит в книге рассмотрение вопроса о рассеянии волн на тепловых неоднородностях, флуктуациях турбулентной плазмы, высокочастотных колебаниях плазмы. Рассмотрением применения сверхвысокочастотных зондов — резонансного и волноводного — завершается рассмотрение активных СВЧ методов.

Вторая часть содержит методы исследования плазмы, основанные на регистрации ее сверхвысокочастотного излучения (пассивные методы).

В гл. 9 включены сведения о происхождении излучения плазмы и устанавливается связь между характеристиками излучения и параметрами плазмы, причем рассматриваются случаи с равновесным и неравновесным распределением скоростей электронов. К сожалению, краткость изложения и некоторая нечеткость приводят к неясностям, которые лишь частично рассеиваются при рассмотрении приложений VII—IX и гл. 10. В § 1—4 этой главы дается изложение методов приема излучений и их интерпретация, базирующаяся в основном на теории теплового излучения плазмы. Рассмотрение ведется применительно к условиям проведения опытов и сопровождается необходимыми расчетными формулами.

В § 5 рассматриваются вопросы исследования нетеплового излучения плазмы, порождаемого кинетическими неустойчивостями, возникающими при отклонении от максвелловского распределения скоростей. Эти вопросы представляют большой интерес в связи с изучением неустойчивостей в высокотемпературной плазме.

Из краткого рассмотрения содержания работы видно, что монография охватывает широкий круг сверхвысокочастотных методов исследования плазмы; систематизирован большой экспериментальный и теоретический материал. Достаточно указать, что список литературы содержит 372 названия. Уже этот библиографический материал привлекает внимание. Естественно, что при обработке и осмысливании столь значительного и сложного материала возникают известные трудности и упущения. В частности, отсутствие ссылок на сигнальную литературу и экспериментальную информацию не способствует знакомству с самыми последними результатами в этой области.

Может быть, вследствие этого нет раздела по измерению температуры плазмы активными СВЧ методами, отсутствует критика методов, требования к СВЧ и электронной аппаратуре. Положительно воспринимались бы конкретные расчетные примеры, номограммы, придавшие бы монографии оттенок справочной настольной книги. Особенно это относится к квазиоптическим методам ввода СВЧ сигналов в исследуемую плазму. Этот вопрос постоянно беспокоит экспериментаторов при определении достоверности обработки результатов СВЧ измерений в плазме. Отмеченные недостатки в целом не снижают ценности рецензируемой книги.

Среди отечественных монографий, посвященных диагностике плазмы, книга В. Е. Голанта, на наш взгляд, является одной из удачных обобщающих работ, способствующих успешному изучению плазмы сверхвысокочастотными методами. Монография дает представление о широком внедрении СВЧ методов в современную экспериментальную физику плазмы как в советских лабораториях, так и за рубежом.

*О. А. Зиновьев*

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Голант, ЖТФ 30, 1265 (1960).
2. В. Д. Русанов, Современные методы исследования, М., Госатомиздат, 1962.
3. Л. А. Арцимович, Управляемые термоядерные реакции, М., Физматгиз, 1961.
4. А. В. Чернетский, О. А. Зиновьев, О. В. Козлов, Аппаратура и методы плазменных исследований, М., Атомиздат, 1965.
5. В. И. Людмирский, Л. Г. Ломизе, В. Н. Каллагов, Авт. свид. СССР № 175542, Бюлл. изобр. и тов. знаков, № 20, октябрь 1965.
6. В. И. Андреев, Л. Г. Ломизе, В. И. Людмирский, А. А. Филичииков, Радиотехника и электроника 10, 2010 (1965).

019.941:539.12.01