1969 г. Сентябрь *Том 99, вып. 1*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

019.941:533.9.07

Л. А. Душин, О. С. Павличенко. Исследование плазмы с помощью лазеров. М., Атомиздат, 1968, 143 стр.

Проблема управляемого термоядерного синтеза постоянно требует применения наиболее современных достижений науки и техники. Развитие экспериментальных работ в этой актуальной области в последнее время привело к возникновению лазерных методов исследования плазмы. Бурный рост квантовой электроники, создание промышленных оптических квантовых генераторов (ОКГ) стимулируют широкое применение лазеров в плазменном эксперименте.

В течение сравнительно короткого времени (с 1962 г.) ОКГ нашли применение при исследованиях плазмы посредством интерферометрии, шлирен- и теневых методов, по рассеянию света. Круг возможностей лазеров непрерывно возрастает. Быстрое увеличение числа публикаций по вопросам лазерной диагностики плазмы потребовало классификации «потока новых идей» и определения места, занимаемого лазерными методами в общем арсенале плазмодиагностических средств. В связи с этим в 1968 г. Атомиздат выпустил рецензируемую книгу Л. А. Душина, О. С. Павличенко «Исследование плазмы с помощью лазеров». Авторы книги — известные специалисты в области оптической и микроволновой диагностики плазмы. В книге представлен обзор методов исследования ионизированных газов с применением ОКГ. Авторы представляли себе «все трудности подобной работы» и предложили книгу для первого знакомства с существом проблемы лазерной диагностики четвертого состояния вещества.

Во введении к книге авторы достаточно четко определяют основные задачи диагностики, отдавая предпочтение горячей плазме. Приводится краткая классификация методов плазменных исследований как активных, так и пассивных, контактных и бесконтактных, заканчивающаяся перечислением исключительно широкого поля применений ОКГ. Глава 1 «Интерферометрия плазмы с помощью лазеров» в значительной части посвящена теоретическому рассмотрению роли вклада электронной компоненты плазмы в показатель преломления ионизированного газа. Рассматривается коэффициент преломления плазмы как смеси заряженных частиц и остаточного нейтрального газа. Изложение материала сопровождается формулами и конкретными числовыми примерами. В § 3 предложена схема деления методов оптической диагностики с применением ОКГ и кратко описываются физические принципы интерферометрии, шлирен-метода и теневой фотографии. С точки зрения методов регистрации все схемы оптического зондирования авторы условно разделили на два класса: схемы с визуализацией поля и схемы с фотоэлектрической регистрацией.

В гл. 2 «Методы исследования плазмы с визуализацией поля» после общего рассмотрения требований к элементам схем оптического зондирования (источнику и приемнику света, оптической системе) авторы подчеркнули, что лазер является «почти идеальным» источником для использования в системах оптического зондирования. При дальнейшем изложении материала в книге имеются в виду исключительно лазерные источники света. В § 2 гл. 2 рассматриваются наиболее актуальные методы интерферометрии плазмы. Приведены конкретные схемы двухлучевых оптических интерферометров с визуализацией поля, обращено внимание на неоднозначность отсчета и методы ее устранения с помощью скоростного фоторегистратора или электронно-оптического преобразователя. Кроме того, дается оценка предельных возможностей интерферометров при измерении минимальных значений концентрации электронов в плазме посредством анализа чувствительности способов отсчета сдвига полос; § 2 завершается рассмотрением интерферометра Майкельсона с полем интерференции около 150 *мм* [1], а также описанием схемы и методики проведения плазменных экспериментов с применением интерферометра Маха—Рождественского [2]. Определению градиента плотности плазмы (шлирен-методом) и степени неоднородности плазмы (теневым методом) посвящены в основном § 3 и 4 гл. 2 книги.

В гл. 3 авторы отмечают, что оптическая интерферометрия плазмы с фотоэлектрической регистрацией и микроволновая интерферометрия, широко применяемая для

измерения показателя преломления плазмы, имеют много общих принципиальных идей построения приборов, основанных на использовании когерентных источников излучения и нелинейного детектирования. В связи с этим Л. А. Душин и О. С. Павличенко полагают (и с этим следует согласиться), что весь опыт сверхвысокочастотной интерферометрии «является основой для создания аналогичных интерферометрических схем (фазометров) в оптическом диапазоне». Авторы с полным основанием подчеркивают, что перенос фазовой информации из оптического диапазона в радиодиапазон дает возможность понизить нижний предел измеряемых значений с NL до величин, соответствующих 10^{14} *электронов/см*^{2} (N — концентрация электронов, L — линейный размер плазмы).

К сожалению, приходится отметить неоправданно сжатое изложение принципа работы и конструкции интерферометра с преобразованием частоты. Без внимания остались вопросы инструментальной точности измерения с учетом погрешностей передачи фазы оптического (зондирующего) сигнала на колебания промежуточной радиочастоты. Некоторые неясности возникают и при рассмотрении калибровки интерферометра с гетеродинным преобразованием частоты (стр. 70). Например, предложение о калибровке интегрирующего фазоиндикатора расстроенным сигналом неосуществимо из-за наличия интегратора. Авторы стремились охватить обзором основные типы интерферометров с ОКГ, как применяемых для исследования плазмы, так и ряд схем «будущего» (см. рис. 18, 20, 21а). При этом, на наш взгляд, уделено мало внимания вопросам, связанным с интерферометром Фабри—Перо, позволяющим продвинуться в область наиболее низких концентраций, например до $5 \cdot 10^{12}$ *см*$^{-3}$ [3].

К сожалению, § 5 гл. 3 написан наименее удачно. В предложенном авторами интерферометре с оптическим амплитудным модулятором (см. рис. 20 и библ. ссылку 94) осуществить растровую систему фазоиндикации не представляется возможным. Заметим, что при использовании плавной системы фазоиндикации осуществление предложенной схемы даст возможность осуществить прибор с удвоенной чувствительностью по фазе. До настоящего времени подобный оптический фазометр еще не опробирован в плазменном эксперименте.

На наш взгляд, § 5 рецензируемой книги выглядит несколько неполным, так как авторы не останавливаются на описании характеристик хотя бы известных модуляторов света, являющихся основным элементом в оптических гомодинах; в библиографии к книге не содержится патентной или экспресс-информации по данному вопросу. Для читателей было бы полезно дополнить библиографию работами по применению лазеров, выпущенными, например, издательствами «Связь» и «Иностранная литература»[4-5]. В § 6 описаны компенсационные интерферометры по аналогии с известными микроволновыми фазометрами с обратной связью по фазе. В рассматриваемом параграфе также отсутствует библиография по узловым элементам — оптическим компенсаторам. В связи с предложенными схемами, использующими фотодетекторы, желательно было бы уделить большее внимание таким «трудным» вопросам, как влияние вибраций и собственных шумов газовых лазеров.

Небольшая гл. 4 «Исследование магнитоактивной плазмы по вращению плоскости поляризации света» включает описание эксперимента по определению пространственного распределения концентрации электронов при известной напряженности внешнего магнитного поля.

Значительное внимание в рецензируемой книге уделено методам диагностики плазмы по рассеянию света. При обсуждении физических основ метода (гл. 5) авторы рассматривают рассеяние света на тепловых флуктуациях плотности электронов и ионов в изотермической и неизотермической плазме, рассеяние в неустойчивой плазме на лэнгмюровских, магнитозвуковых и альвеновских колебаниях, нелинейные процессы при взаимодействии электромагнитных волн с плазмой (§ 2—5).

Последняя, гл. 6 посвящена экспериментальным методам исследования плазмы по рассеянию света. В отличие от предыдущей, теоретической главы, здесь читатели знакомятся с возможностями методов измерений, основными требованиями к ним, техникой эксперимента. В качестве примеров приведены методики экспериментального исследования спектра и абсолютной интенсивности рассеянного света при исследовании плазмы. В заключение авторы приводят результаты экспериментального изучения плазмы по рассеянию света, полученные при исследовании пинчей с помощью рубинового лазера с модулируемой добротностью, плазмы, нагреваемой при помощи ионного циклотронного резонанса, ударных волн в газах, плазмы искрового пробоя газа при фокусировке луча лазера, дающего гигантский импульс.

Итак, исследователи плазмы получили первый «путеводитель» по вопросам изучения плазмы с помощью лазеров. Несмотря на отдельные недостатки, книга Л. А. Душина и О. С. Павличенко вызывает интерес специалистов и безусловно окажет положительное влияние, способствуя применению лазеров для плазменных исследований.

О. А. Зиновьев

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Г. Долгов-Савельев, Э. П. Кругляков, В. К. Малиновский, В. М. Федоров, Доклад на IV Международном симпозиуме по инженерным проблемам термоядерных исследований, Фраскатти, 1966; Препринт ИЯФ СО АН СССР № 40, Новосибирск, 1966.
2. F. C. Jahoda, E. M. Little, W. E. Quinn, Appl. Phys. 35, 2351 (1964).
3. Г. Г. Манагадзе, И. М. Подгорный, В. Д. Русанов, в сб. «Диагностика плазмы», т. 32, М., Атомиздат, 1968, стр. 35.
4. В. Н. Чернышов, А. Г. Шерементьев, В. В. Кобзев, Лазеры в системах связи, М., «Связь», 1966.
5. Сб. «Лазеры», под ред. М. Е. Жаботинского и Г. А. Шмаонова, М., ИЛ, 1953.