

где  $T_a$  и  $m_a$  — температура и масса атомов газа. Результаты расчетов приведены на рис. 1. Обращает на себя внимание  $S$ -образный характер полученных зависимостей для Ag, Kr, Xe, происхождение которого обусловлено рамзауэровским минимумом в зависимости  $\sigma_{ea}(v)$ . Результаты выполненных расчетов показывают, что квантово-механическая природа эффекта Рамзауэра может проявляться в разнообразных макроскопических явлениях, протекающих в низкотемпературной плазме. И для  $T_e$ , и для  $v_d$  существует интервал значений  $(E/N)_1 < (E/N) < (E/N)_3$ , в котором одному значению  $E/N$  соответствуют три значения  $T_e$  (или  $v_d$ ):  $T_1 < T_3 < T_2$ , среднее из которых является неустойчивым. Экспериментально такая  $S$ -образность должна проявляться, в частности, в скачкообразном изменении проводимости плазмы, причем в зависимости от направления изменения  $E/N$  этот скачок должен происходить при разных значениях  $E/N$ , т. е. эффект должен иметь гистерезисный характер.

При исследовании послесвечения импульсного разряда в условиях медленной релаксации электронной температуры во времени результат измерения проводимости при постоянной величине зондирующего поля изменяется скачком в зависимости от уровня начальной температуры электронов.

На рис. 2 представлены результаты измерения тока в распадающейся плазме ксенона при наложении на нее зондирующего поля постоянной амплитуды. Давление ксенона  $\approx 300$  Па. Амплитуда зондирующего поля  $\approx 0.01$  Тд.

Проведенные расчеты и эксперименты показали, что в области слабых зондирующих полей (для ксенона  $\approx 0.01$ — $0.1$  Тд) возможны гистерезисные явления, которые могут проявляться в скачках измеряемых электрических величин.

#### Литература

- [1] Хаксли Л., Кромптон Р. Диффузия и дрейф электронов в газах. М., 1977, с. 624.
- [2] Герасимов Г. Н., Лягущенко Р. И., Старцев Г. П. — Опт. и спектр., 1971, т. 30, в. 4, с. 606.
- [3] Baille P., Chang J.-C., Claude A., Hobson R. M., Ogram G. L., Yau A. W. — J. Phys. B, 1981, v. 14, p. 1485.

Поступило в Редакцию 22 апреля 1985 г.

УДК 535.42

Опт. и спектр., т. 59, в. 4, 1985

## ОБ УГЛОВОЙ СЕЛЕКЦИИ И КРАЕВОЙ ДИФРАКЦИИ В ПЛОСКИХ РЕЗОНАТОРАХ

Ананьев Ю. А.

Большинство специалистов давно утвердилось в мнении о том, что получение малой расходимости путем применения плоских резонаторов с большими числами Френеля — цель недостижимая. Несмотря на это, отдельные группы исследователей продолжают вести поиск нестандартных режимов работы либо модификаций плоских резонаторов, которые позволили бы «обмануть природу».

Пожалуй, рекордной по числу посвященных ей в 70-е годы публикаций является идея о замене одного из зеркал плоского резонатора на плоскую же двумерную решетку. В первых экспериментах [1] решетчатое зеркало рассматривалось просто как элемент, способный в необходимых случаях заменить полупрозрачное зеркало. Вскоре в [2] было предложено подбирать параметры решетки и длину резонатора так, чтобы изображение решетки, формирующееся благодаря так называемому эффекту Тальбота, было совмещено с нею самой. Именно такие резонаторы послужили основным объектом исследований в большом цикле работ, открывающимся статьей [3].

Выяснилось, что при слабом возбуждении и в отсутствие заметных неоднородностей среды лазеры с указанными резонаторами способны генерировать

излучение, распределение которого в дальней зоне представляет собой правильную решетку из узких максимумов, что косвенно свидетельствует о высокой пространственной когерентности излучения. Особо обнадеживающих данных, относящихся к условиям, характерным для высокоэффективных лазеров, получено не было. Впрочем, какие-либо доводы в пользу «решетчатых» резонаторов, которые основывались бы на результатах анализа устойчивости мод по отношению к возмущениям, конкуренции мод и т. п. (наподобие существовавших по поводу неустойчивых резонаторов [4]), отсутствовали с самого начала. Наличие же целого ряда негативных моментов (скажем, существование зависимости «коэффициента прозрачности» решетки от степени неоднородности среды) было вполне очевидным.

Вообще говоря, примерно с одними и теми же трудностями должны быть сопряжены любые попытки построения резонаторов, жестко «навязывающих» полю определенную структуру невзирая на имеющиеся или возникающие в ходе генерации неоднородности среды (возможности, связанные с ОВФ, здесь не обсуждаются). Именно тем и хороши неустойчивые резонаторы, что, обеспечивая использование активной среды в режиме, близком к усилительному, они не мешают волновому фронту приобрести те минимальные искажения, без которых при имеющихся неоднородностях не обойтись.

Отметим еще, что исследования по «решетчатым» резонаторам, как резонно было указано в [5], методологически близки к работам, направленным на выделение какого-то вполне определенного сложного типа колебаний обычного резонатора с помощью проволочных или иных масок. Если бы те же самые неоднородности не препятствовали бы устойчивому достижению такого эффекта, можно было бы решить проблему расходимости либо путем вывода излучения через малое отверстие в одном из зеркал, как это было предложено в [6], либо с помощью фазовой коррекции сложного пучка. Кстати, впервые такую коррекцию осуществили не Касперсон и другие в 1977 г. [7], как это часто считают, а Соскин с сотрудниками в 1971 г. [8] (то, что корректор был голографическим, а не представлял собой, как в [7], фазовую пластинку, не имеет принципиального значения).

Несмотря на неясность практических приложений, полезность выполненных в рамках всего этого направления исследований по крайней мере в чисто познавательном плане несомненна. Исключение составляет [9]; поскольку в ней «опровергнута» правильность хрестоматийных представлений о свойствах плоских резонаторов, выдвинутая концепция требует обсуждения.

Автор [9] полагает, что при отражении плоской монохроматической волны от зеркала диаметром  $D$ , край которого имеет шероховатости размером  $\delta$ , дифракционная картина в плоскости второго зеркала оказывается полностью размытой, если выполняется условие  $\delta \geq \lambda l/D$ , где  $l$  — расстояние между зеркалами. Полная «размытость» дифракционной картины является признаком отсутствия того дифракционного «отражения» от края, которое по [10] лежит в основе механизма «удержания поля» в плоских резонаторах.

Упомянутое условие, почерпнутое из [11], действительно часто выполняется, однако это гарантирует «размытость» отнюдь не всей картины дифракции, а лишь ее центра (что и указывалось в [11]). Центр картины формируется излучением, рассеянным благодаря краевым эффектам на сравнительно большой угол  $D/2l$ , почему здесь и может сказаться наличие мелких шероховатостей. Что же касается тех волн, которые составляют моду резонатора с индексом  $m$ , то их дифракционное «отражение» от открытого края резонатора связано с изменением направления всего лишь на угол  $\sim (m+1) \lambda/D$  [10]. Отсюда следует, что дифракционное «отражение» исчезает только тогда, когда размер шероховатостей (или, как сейчас часто говорят, ширина зоны «сглаживания» края) превышает  $D/(m+1)$ , т. е. ненамного уступает размеру зеркал. Естественных шероховатостей, которые были бы способны уничтожить саму возможность существования низших мод широкоапертурного плоского резонатора, не бывает.

Марченко заблуждается также, считая, что краевой механизм удержания поля «обладает резкой селективностью» и именно это приводит к дискретности спектра мод. Сам по себе механизм вовсе не селективен и приводит к «отражению» любых волноводных волн сплошного спектра, набегающих на край под

достаточно малым углом (на этом зиждется весь математический аппарат [10]; разъяснения в более доступной форме имеются в [12]). Свойство селективности связано с самовоспроизводимостью полей и при наличии таковой существует в той или иной степени при любом механизме, обеспечивающем эту самовоспроизводимость. Напомним, что спектр низших мод дискретен и у резонаторов с гауссовыми зеркалами, и в тех случаях, когда поле не заполняет всего сечения резонатора, а сосредоточено в той его зоне, где интенсивность возбуждения среды превышает пороговую [13]. Чтобы подтвердить свою точку зрения, автор [9], не доверяя заводскому описанию, предпринял проверку того, действительно ли интерферометры Фабри—Перо типа ИТ-28-30 обладают угловой дисперсией. Соответствующие эксперименты, произведенные при базе интерферометра 0.3 мм с помощью спектрографа СТЭ-1 и подробно описанные в статье, показали, что угловая дисперсия существует. В этом Марченко усмотрел доказательство того, что плоский резонатор надо воспринимать не как резонатор, а как «зadiaфрагмированный планарный волновод». Смысл остальных экспериментов еще менее понятен.

Автор настоящей заметки хотел не только пояснить некоторые важные моменты теории открытых резонаторов, но и показать, что в этой области сделать что-то принципиально новое и в то же время правильное сейчас уже не так легко. Это касается, в частности, вопроса о модах идеальных пустых широкоапертурных плоских резонаторов: они действительно почти никогда не наблюдаются, однако вовсе не в силу обстоятельств, обсуждаемых в [9], а по причинам, давно уже известным. Ими являются действия всевозможных возмущений, отсутствие строгой стационарности условий возбуждения и режима генерации [12]; новых причин искать не нужно.

#### Литература

- [1] Ананьев Ю. А., Гришманова Н. И., Свенцицкая Н. А. — ЖТФ, 1973, т. 43, в. 7, с. 1530.
- [2] Аблоков В. К., Беляев В. С. — ЖПС, 1975, т. 23, в. 6, с. 1110.
- [3] Аблоков В. К., Беляев В. С., Марченко В. М., Прохоров А. М. — ДАН СССР, 1976, т. 230, в. 5, с. 1066.
- [4] Ананьев Ю. А., Свенцицкая Н. А., Шерстобитов В. Е. — ЖЭТФ, 1968, т. 55, в. 1, с. 130.
- [5] Марченко В. Г. — Квант. электрон., 1981, т. 8, в. 5, с. 1037.
- [6] Троицкий Ю. В. — Квант. электрон., 1974, т. 1, в. 1, с. 124.
- [7] Kasperian L. W., Kitcheloe N. K., Statsudd O. M. — Opt. Commun., 1977, v. 21, N 1, p. 1.
- [8] Соскин М. С., Бондаренко М. Д., Гнатовский А. В. — Письма в ЖЭТФ, 1971, т. 14, в. 1, с. 27.
- [9] Марченко В. Г. — Радиотехника и электроника, 1983, т. 28, в. 8, с. 1530.
- [10] Вайнштейн Л. А. Открытые резонаторы и открытые волноводы. М., 1966.
- [11] Горелик Г. С. Колебания и волны. М., 1959.
- [12] Ананьев Ю. А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения М., 1979.
- [13] Кузнецова Т. И. — ЖТФ, 1964, т. 34, в. 3, с. 419; ЖТФ, 1966, т. 36, в. 1, с. 58.

Поступило в Редакцию 25 апреля 1985 г.

УДК 535.417+533.9

Опт. и спектр., т. 59, в. 4, 1985

### ПИКСЕКУНДНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Власов Н. Г., Корчажкин С. В., Мацонашвили Р. Б.,  
Петряков В. М., Соболев С. С., Чалкин С. Ф.

Проблемы разработки сверхскоростных интерференционно-голографических методов регистрации и измерения параметров быстропротекающих процессов, обеспечивающих временное разрешение от нескольких наносекунд до единиц пикосекунд, освещались ранее в [1-10] и [11-14]. Существенные трудности в раз-