

логично тому как это наблюдалось в эксперименте для состояний с $n=5$. Уровень «насыщения» значения $\gamma_5^{\text{теор}}$ мало зависит от соотношения сечений передачи возбуждения между $6F$ -, G -, H - и $1D_2$ -состояниями. При уменьшении величины сечений меняется только значение давления, при котором устанавливается насыщение (рис. 2). Нами были проанализированы экспериментальные кривые распада заселенности уровня 6^1D_2 при разных давлениях. При давлении 50 мтор, например, был получен следующий набор вероятностей: $\gamma_1 \sim 110 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, $\gamma_2 \sim 45 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, $\gamma_3 \sim 22 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, $\gamma_4 \sim 2.75 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, $\gamma_5 \sim 1.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, $\gamma_6 \sim 0.3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$. Вероятности γ_5 и γ_6 соответствуют, по-видимому, каскадным переходам с вышележащих состояний и рекомбинационным процессам. Их вклад в суммарный распад $\sim 5\%$. Вероятности γ_1 , γ_2 , γ_3 описывают перераспределение заселенностей между уровнями с $n=6$ в результате столкновений, а γ_4 — величину вероятности распада смешанного $6FGH$ -состояния. Теоретическое значение $\gamma_5^{\text{теор}} \sim 2.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ удовлетворительно согласуется с полученным экспериментально $\gamma_4 \sim 2.75 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$.

Аналогичные измерения выполнялись и для состояний с $n=7$. Расчетные вероятности радиационного испускания уровней с $L > 3$ в литературе отсутствуют. В связи с этим мы вычислили вероятности переходов, предполагая, что уровни с большими L являются водородоподобными. Для $n=7$ смешивание FGH -состояний дает величину вероятности $\gamma \sim 1.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$. Учет этой компоненты наряду с $\gamma \sim 2.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ при анализе кривых распада заселенностей нижележащих состояний $n=3-5$, заселяемых вследствие каскадных переходов, существенно уменьшает остаточную дисперсию разложения.

Таким образом, уже при малых давлениях неупругие столкновения возбужденных атомов с нормальными в гелии приводят к передаче возбуждения между уровнями с одинаковым главным квантовым числом. В результате этих столкновений распады заселенностей уровней усложняются: сильно изменяются эффективные вероятности испускания; появляются компоненты с вероятностями, большими радиационных; образуются смешанные состояния с малыми вероятностями испускания и большим статистическим весом. Эти обстоятельства затрудняют задачу исследования кривых распада заселенностей уровней, в частности при необходимости учета каскадных переходов. В связи с этим представляется не совсем понятными приводимые в литературе, например [4-6], варианты разложения экспериментальных кривых распада заселенностей возбужденных уровней гелия. Помимо собственных эффективных вероятностей, авторы дают набор значений γ_k , близких к радиационным значениям вышележащих F -состояний. Пренебрежение ролью состояний с $L > 3$ в процессах переноса энергии возбуждения должно приводить к большим погрешностям при количественных расчетах.

Литература

- [1] Г. С. Кватер, О. В. Огинец, В. Б. Смирнов, Ю. А. Толмачёв, С. А. Багаев. Опт. и спектр., 38, 840, 1975.
- [2] С. А. Багаев, О. В. Огинец, Г. С. Кватер, В. Б. Смирнов, Ю. А. Толмачёв. Опт. и спектр., 41, 687, 1976.
- [3] И. П. Запесочный. ДАН СССР, 171, 559, 1966.
- [4] R. V. Kaу, R. H. Hughes. Phys. Rev., A, 154, 61, 1967.
- [5] W. R. Pendleton, R. H. Hughes. Phys. Rev. A, 138, 683, 1965.
- [6] R. J. Anderson, R. H. Hughes, J. G. Norton. Phys. Rev. A, 181, 198, 1969.

Поступило в Редакцию 8 июля 1977 г.

УДК 621.373 : 535

ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА НЕОДИМОВОМ СТЕКЛЕ С РЕШЕТЧАТЫМ ЗЕРКАЛОМ

В. К. Аблоков, В. С. Беляев, В. И. Виноградов, В. Г. Марченко,
В. М. Марченко и А. М. Прохоров

Характеристика излучения лазеров, резонатор которых образован сплошным и решетчатым зеркалами, представляет интерес в связи с выводом энергии из резонатора мощных лазеров ИК диапазона сквозь решетку отверстий. Некоторые особенности генерации лазера на стекле с неодимом с подобным резонатором экспериментально были выявлены в работе [1]. К настоящему времени появились работы [2, 3], позволяющие целенаправленно проводить исследования таких резонаторов.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования [2, 3] показали, что в резонаторе с решетчатыми зеркалами существуют собственные типы колебаний — периодические моды, структура поля которых зависит от расстояния между зеркалами.

Объяснение этого свойства состоит в том, что в резонаторах с периодической решеткой существенную роль играет эффект воспроизведения периодической структуры поля, описанной в работах [4, 5]. Если направить на решетку с периодом p плоскую монохроматическую волну, то в плоскостях на расстояниях $L_0 = m p^2 / \lambda$ от решетки, где λ — длина волны, а m — целое число, поле воспроизводит структуру периодической решетки. Подобно тому, как при прохождении начального возмущения через последовательность диафрагм устанавливается собственное распределение поля [6], в данном случае собственное поле устанавливается в результате многократного воспроизведения на решетчатом зеркале при распространении в резонаторе.

Для экспериментального исследования распределения поля излучения из соображения лучшей оптической однородности и большей апертуры был выбран лазер на неодимовом стекле, работающий в режиме свободной генерации. Накачка цилиндрического активного элемента диаметром 30 мм производилась в стандартном четырехламповом осветителе. Оптический резонатор был образован двумя плоскопараллельными диэлектрическими зеркалами, одно из которых было сплошным с коэффициентом отражения 0.85, а поверхность второго представляла собой двумерную решетку с зеркальными квадратными ячейками (период 1 мм, шаг — 1) по двум ортогональным направлениям. Нанесение зеркальных ячеек производилось через металлические маски, изготовленные фотолитографическим способом. Коэффициент отражения ячеек составлял примерно 0.99.

Следует заметить, что расстояние между зеркалами L при наличии в резонаторе диэлектрического слоя толщиной l должно определяться с учетом поправки на показатель преломления n диэлектрика

$$L = L_0 + l \left(1 - \frac{1}{n} \right).$$

Распределение поля в ближней и дальней зонах со стороны сплошного (левая колонка) и решетчатого (правая колонка) зеркал.

a, б — ближние зоны при $L=1040$ и 780 мм соответственно; *в, г* — дальние зоны при $L=1040$ мм на пороге генерации и при 10%-м превышении над порогом соответственно; *д* — расплывание периодического поля в поперечном сечении резонатора при $L=1040$ мм и уменьшенных размерах зеркальной решетки по сравнению с размерами активной среды и подложки.



Регистрация распределения энергии излучения в ближней и дальней зонах осуществлялась фотографически и по прожигу мишеней, изготовленных из засвеченной и полностью обработанной фотобумаги. При регистрации ближней зоны излучения мишень располагалась за зеркалами в непосредственной близости, дальней — в фокальной плоскости объектива с фокусным расстоянием $F=1$ м.

Характерные распределения поля излучения лазера в ближних и дальних зонах со стороны сплошного (левая колонка) и решетчатого (правая колонка) зеркал показаны на рисунке. На рисунке, *a* показаны распределения поля излучения лазера в ближней зоне для случая, когда длина резонатора была выбрана равной расстоянию до первой плоскости воспроизведения решетки ($L_1=1040$ мм), на рисунке, *б* — для случая длины резонатора, равной трем четвертям этого расстояния. В первом случае характер распределения полей в ближних зонах сплошного и решетчатого зеркал сходны, во втором случае эти распределения существенно отличаются друг от друга. Таким образом, в резонаторе с решетчатыми зеркалами распределение поля в ближней зоне излучения зависит от расстояния между зеркалами. Поскольку при длине резонатора L_1 на сплошном зеркале воспроизводится распределение поля решетчатого зеркала, то это, по-видимому, свидетельствует о большой пространственной когерентности собственного поля излучения лазера по апертуре.

Пространственное распределение энергии излучения в дальней зоне с резонатором длиной L_1 при различных превышениях энергии накачки над пороговой показано на рисунке, *в* и *г*. Диаграммы направленности излучения лазера в обе стороны являются регулярными и многолепестковыми. Их отличие, по-видимому, связано с большим коэффициентом пропускания решетчатого зеркала в межзеркальных промежутках.

В экспериментах, в которых использовались решетчатые зеркала с зеркальной частью меньше диаметра активной среды и подложки (10×10 мм по центру подложки), периодическое распределение поля в ближней зоне распространялось почти на весь диаметр резонатора (см. рисунок, *д*).

Этот факт, а так же то, что угловой спектр генерации (см. рисунок, *в, г*) отличается от углового спектра решетки, освещенной плоской волной, говорит об активной роли решетчатого зеркала в формировании собственных типов колебаний в резонаторе.

В серии экспериментов с применением нейтральных светофильтров была произведена оценка расходимости. Размер пятна h в фокусе объектива с $F=1$ м был около 0.1 мм. Следовательно, эффективная апертура излучения $a=(\lambda/h)F \approx 10$ мм сравнима с выходной апертурой лазера. Большая эффективная апертура излучения характерна для всех наблюдавшихся лепестков диаграммы при различных уровнях накачки.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что в лазерах, в резонаторах которых используются периодические двумерные зеркальные решетки, формируются собственные типы колебаний — периодические моды. Распределение полей на зеркалах зависит от расстояния между ними, а область когерентности может достигать значительной части апертуры. Угловой спектр излучения представляется набором пространственных гармоник и отличается от углового спектра пассивной решетки, освещаемой плоской волной.

Литература

- [1] Ю. А. Анапьев, Н. И. Гришманова, Н. А. Свенцицкая. ЖТФ, 43, 1530, 1973.
- [2] В. К. Аблеков, В. С. Беляев. Ж. прикл. спектр., 23, 1110, 1975.
- [3] В. К. Аблеков, В. С. Беляев, В. М. Марченко, А. М. Прохоров. ДАН СССР, 230, 1066, 1976.
- [4] R. F. Edgar. Opt. Acta, 16, 281, 1969.
- [5] Ю. Н. Денисюк, Н. М. Рамишвили, В. В. Чавчанидзе. Опт. и спектр. 30, 1130, 1971.
- [6] A. G. Fox, T. Li. Bell. Syst. Techn. J., 40, 453, 1961.
- [7] Д. Гудмен. Введение в Фурье-оптику. «Мир», М., 1970.

Поступило в Редакцию 12 июля 1977 г.

УДК 535.375.5

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ В РАСТВОРАХ ПРИ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ

В. А. Еськин и Н. К. Сидоров

В большинстве работ изучение концентрационной зависимости интенсивности линий КР в растворах производилось при сравнительно высоких концентрациях — больше 10 мол.%; малые концентрации, как правило, затрагивались очень редко. Однако в том небольшом количестве работ, где исследования велись и при малых концентрациях [1-3], именно в области малых концентраций обнаруживаются иногда значительные отклонения от пропорциональности между интенсивностью линий КР и концентрацией. Конкретные причины этих отклонений далеко не выяснены; несомненно только, что они связаны с межмолекулярным взаимодействием (ММВ) в жидкой фазе. Между тем неясно, вносит ли в величину межмолекулярного взаимодействия доминирующий вклад внутреннее (эффективное) поле в диэлектрике, или ММВ в основном обусловлено изменением производной поляризуемости молекулы в конденсированной среде. Поэтому вопрос изучения концентрационной зависимости интенсивности КР при малых концентрациях продолжает оставаться актуальным и нуждается в углубленной проработке.

Работа при малых концентрациях сопряжена с большими трудностями и предъявляет высокие требования к очистке веществ от посторонних примесей. При малых концентрациях даже наиболее яркие линии исследуемого вещества имеют очень малые интенсивности, сравнимые с интенсивностью наиболее слабых близко расположенных или налагающихся линий КР растворителя, что очень затрудняет получение надежных данных и сильно ограничивает выбор пригодных для исследования линий. Для получения надежных данных приходится использовать лишь самые яркие изолированные линии без наложений линий растворителя; поэтому число доступных линий КР, на которых можно провести точные измерения, невелико.

Нами произведено измерение интенсивности линий КР в растворах при малых концентрациях, т. е. в условиях, когда с молекулой исследуемого вещества взаимодействуют лишь молекулы растворителя, окружающие ее. Сравнение интенсивностей линий КР в чистой жидкости с интенсивностями этих же линий в сильно разбавленных растворах позволяет наиболее точно и наглядно изучить изменение влияния ММВ на интенсивность линий КР при переходе от чистой жидкости (когда данная молекула