

ТОНКАЯ СТРУКТУРА СПЕКТРА СВЕРХИЗЛУЧЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРЕ НА НЕОНЕ

Ф. А. Королев, Г. В. Абросимов, А. И. Одинцов и В. П. Якунин

Исследован спектральный состав сверхизлучения на трех линиях импульсного лазера на неоне с длинами волн 6143, 5944 и 5401 Å при помощи интерферометра Фабри—Перо толщиной 10 и 15 см. Обнаружена тонкая структура линий сверхизлучения, содержащая в типичных случаях от 3 до 6 компонент с интервалом между соседними компонентами в пределах 150—400 Мгц. Ширина отдельной компоненты оценивается ~100—200 Мгц, что по порядку величины согласуется с длительностью импульса сверхизлучения ~5—8 нсек. Не найдено зависимости интервала расщепления от геометрии разрядной области, давления газа и величины зарядной емкости. Наблюдаемая тонкая структура не может быть отнесена к изотопической структуре неона, так как число компонент и расстояния между ними не соответствуют характеристикам изотопического сдвига в неоне. Компоненты структуры, по-видимому, принадлежат сверхизлучательным модам импульсного лазера. Одновременно проведены исследования пространственной структуры сверхизлучения в поперечном сечении пучка. Обнаружено значительное увеличение угловой расходимости пучка с ростом давления неона в трубке.

Свойства импульсного лазера на неоне изучались в ряде работ [1-4]. Исследуя временную когерентность сверхизлучения в линии 5401 Å при помощи интерферометра Майкельсона, авторы [4] нашли, что при длительности импульса сверхизлучения 2 нсек. ширина линии составляет порядка 500 Мгц. В настоящей работе были предприняты более детальные исследования спектрального состава линий сверхизлучения неона при помощи интерферометра Фабри—Перо.

Использовались стеклянные разрядные трубки внутренним диаметром от 2 до 5 мм с впаянными цилиндрическими электродами из кобальта при длине разряда от 15 до 60 см. Оптические окна были расположены под углом Брюстера к оси трубки. Электрические импульсы с амплитудой напряжения 20 кВ и временем нарастания переднего фронта ~10 нсек. получались путем разряда батареи безындуктивных конденсаторов через разрядник на первичную обмотку повышающего импульсного трансформатора. Наблюдалось сверхизлучение на трех линиях неона с длинами волн 6143 Å (переход $2p_6-1s_5$), 5944 Å ($2p_4-1s_5$) и 5401 Å ($2p_1-1s_4$).

Ширина импульса сверхизлучения на уровне половины интенсивности для всех трех линий составляла на осциллограммах около 10 нсек. С учетом инерционности регистрирующей схемы (коаксиальный фотоэлемент в сочетании с осциллографом С1-11) истинная длительность импульса оценивается в пределах от 5 до 8 нсек.

На рис. 1 приведена фотография поля в поперечном сечении пучка сверхизлучения (без зеркал) линии 6143 Å в ближней зоне. Хорошо видно, что пучок имеет характерную зернистую структуру. Подобная структура наблюдается и в дальней зоне. На многих снимках изображение обнаруживает также и отчетливую кольцевую структуру. Угловая расходимость сверхизлучения подробно исследовалась для линии 6143 Å. При давлении неона, близком к оптимальному (для $\lambda = 6143$ Å $P_{\text{опт.}} \sim$

~ 0.3 тор), полный угол расходимости в дальней зоне составляет $2\theta \approx \frac{d}{l}$ (d — диаметр трубки, l — длина разряда). При $p < p_{\text{opt}}$ расходимость уменьшается. С повышением давления вокруг центральной части пятна с угловыми размерами $\sim \frac{d}{l}$ происходит развитие периферийных зон, а интенсивность центральной части ослабляется. При $p \sim 1.5\text{--}2$ тор полная расходимость пучка превосходит $\frac{2d}{l}$ (здесь, по-видимому, играют роль отражения от внутренних стенок трубки). Наблюдаемое перераспределение интенсивности в сечении пучка в зависимости от давления

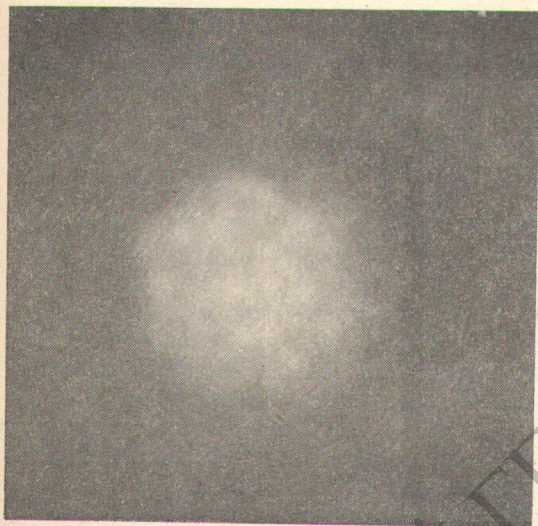


Рис. 1. Поле сверхизлучения линии 6143 Å неона в ближней зоне.
Давление неона 0.3 тор.



Рис. 2. Интерферограмма сверхизлучения на линии 6143 Å.
Толщина интерферометра Фабри—Перо 10 см.

может быть истолковано как результат насыщения инверсии уровней с ростом плотности электронов в разряде.

Спектральный состав сверхизлучения исследовался с интерферометром Фабри—Перо толщиной 15 и 10 см с коэффициентом отражения зеркал 95%. Интерферограммы фотографировались при помощи длиннофокусной камеры ($f = 800$ мм). Особое внимание обращалось на обеспечение развязки между лазером и интерферометром, с тем чтобы отраженный от интерферометра свет не попадал обратно в трубку. Применялся развязывающий элемент, состоящий из призмы Николя и пластинки $\frac{\lambda}{4}$, а также использовалось наклонное падение пучка на интерферометр, при котором отраженный луч шел мимо трубки. Выделение линий осуществлялось с помощью интерференционных светофильтров.

Интерферограммы сверхизлучения (рис. 2) обнаруживают отчетливо выраженную тонкую структуру. Расстояние между соседними компонентами структуры в различных точках поля изображения¹ колеблется от 150 до 400 Мгц. В отдельных «зернах» пучка компоненты структуры не совпадают между собой и не обнаруживают заметной корреляции.

¹ При использованной оптической схеме поле изображения, наблюдаемое в фокальной плоскости камеры, соответствует картине пучка в дальней зоне (на бесконечности).

Это обстоятельство сильно затрудняет промер интерферограмм, так как интерференционные кольца получаются «разорванными». Удобные для обработки снимки могли быть получены при установке перед интерферометром рассеивающей линзы, которая увеличивала угловые размеры изображения. От импульса к импульсу как пространственная структура пятен, так и спектральный состав в отдельных точках не повторяются. Компоненты структуры по сравнению с контрольными интерферограммами одночастотного гелий-неонового лазера выглядят заметно уширенными. Согласно грубой оценке, их ширина лежит в пределах 100—200 Мгц, что согласуется по порядку величины с длительностью импульса. Структура на всех трех исследованных линиях в значительной степени подобна, однако в линиях 6143 и 5944 Å интерференционные кольца выглядят более отчетливыми, чем в линии 5401 Å. Аналогичная структура наблюдается и при работе лазера с одним зеркалом.

Были предприняты попытки исследовать зависимость наблюдаемого расщепления линий от различных факторов, таких как геометрия трубки, давление неона, величина зарядной емкости, однако четко выраженной зависимости интервалов структуры от указанных факторов обнаружено не было. Число компонент растет с увеличением мощности светового импульса и в отдельных участках поля изображения может достигать 6—8. Одновременно увеличивается общая ширина линии сверхизлучения, которая для $\lambda = 6143 \text{ \AA}$ доходит до $\sim 1000 \text{ Мгц}$.

Наблюдаемая тонкая структура линий сверхизлучения неона не может быть отнесена к изотопической структуре, как это было сделано в случае таллия^[5], так как число компонент и расстояния между ними не соответствуют изотопному составу и величине изотопического сдвига в неоне^[6]. Поэтому остается предположить, что компоненты структуры принадлежат сверхизлучательным модам импульсного лазера. В заключение отметим, что наличие структуры линий делает проблематичным применение такого типа лазеров в качестве оптических стандартов длины волны.

Литература

- [1] H. G. Heard, J. Peterson. Proc. IEEE, 52, 1258, 1964.
- [2] И. Н. Князев, Г. Г. Петраш. Ж. прикл. спектр., 4, 560, 1966.
- [3] А. А. Исаев, Г. Г. Петраш. ЖЭТФ, 56, 1132, 1969.
- [4] D. A. Leonard, W. R. Zinky. Appl. Phys. Lett., 12, 113, 1968.
- [5] А. А. Исаев, П. И. Ищенко, Г. Г. Петраш. ЖЭТФ, Письма в Редакцию, 6, 619, 1967.
- [6] В. И. Одинцов. Опт. и спектр., 18, 357, 1965.

Поступило в Редакцию
7 октября 1969 г.