

О РАСЩЕПЛЕНИИ ЛИНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ НА СВЕРХСВЕТИМОСТИ

В.И.Щиленко, В.Н.Лисицын, А.М.Ражев,
С.Г.Раутин, А.М.Шалагин

Экспериментально обнаружена стохастически-периодическая структура линий сверхсветимости азотного лазера. Обсуждаются аналоги этого явления в других импульсных источниках излучения.

1. В работах [1 – 5] наблюдалась тонкая структура линий сверхсветимости в импульсных лазерах: линии $\lambda = 6143 \text{ \AA}$, $\lambda = 5944 \text{ \AA}$, $\lambda = 5401 \text{ \AA}$ Ne и $\lambda = 5350 \text{ \AA}$ Tl состояли из нескольких компонентов, расположенных в пределах допплеровской ширины. Главная черта явления, – его стохастичность: число и расположение компонентов меняется по сечению пучка и не воспроизводится в последовательных вспышках. Интерпретация явления состоит в том, "... что компоненты структуры, по-видимому, принадлежат сверхизлучательным модам импульсного лазера" [1]. Работы [1 – 5] единственные в своем роде, и оставалось неясным, является ли эффект сколько-нибудь общим или же он специфичен для условий [1–5] (разряд, атомный газ низкого давления, допплеровское уширение).

Описанные ниже опыты и анализ литературных данных приводят к выводу о чрезвычайной общности явления, – расщепление линии свойственно всем импульсным источникам с большим коэффициентом усиления независимо от вида излучающей системы и способа возбуждения. Кроме того, обнаружено новое свойство, – квазипериодичность расщепления линии.

2. Изучалась структура линий $\lambda = 3371 \text{ \AA}$ N₂ и $\lambda = 3914 \text{ \AA}$, $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ N₂⁺ в импульсном лазере, описанном в [6]. В объеме $0,5 \times 3 \times 300 \text{ mm}^3$ поперечный разряд возбуждал смесь He – N₂ при давлении 8 – 10 atm (отношение давлений He : N₂ примерно 100 : 1). Длительность импульса сверхсветимости 2,5 μsec (на полувысоте). Использовался эталон Фабри – Перо с областью дисперсии $0,313 \text{ cm}^{-1}$ и разрешением около $0,015 \text{ cm}^{-1}$. В плоскость колец изображался выходной торец лазера.

3. Распределение интенсивности в поперечном сечении пучка имеет характерную зернистую структуру. Линия сверхсветимости состоит из 1 – 6 компонентов, число и положение которых изменяется от зерна к зерну и от вспышки к вспышке лазера. Если перед эталоном установить рассеивающий элемент (матовое стекло, полиэтиленовую пленку), то контур линии становится гладким (см. рис. a) с шириной $\gamma_{\text{генер}} = 0,15 \text{ cm}^{-1}$. Это означает, что рассеиватель усредняет спектр по многим зернам.

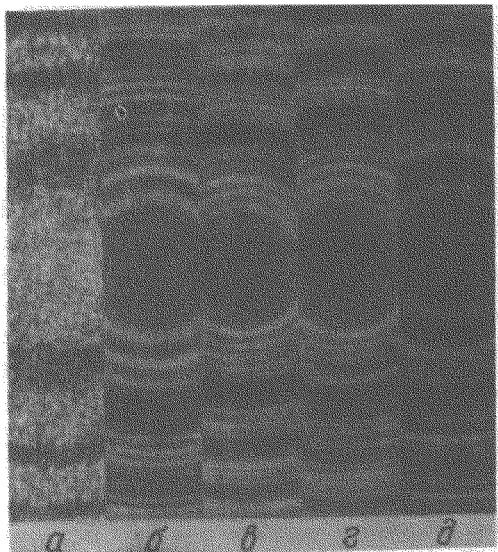
Для более детального изучения спектра одиночного зерна торец лазера отображался в плоскость интерференционных колец с таким увеличением (~100), что размер изображения зерна был больше диаметра нескольких колец. В этих опытах, выполненных для линии $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ обнаружилось новое, неожиданное свойство, – квазипериодичность спектральной структуры линии: на 30 снимках (из 51 просмотренного) ком-

компоненты линии приблизительно эквидистанты, хотя на разных снимках период структуры разный (рис. б, в, г, д). Статистическая обработка результатов измерений привела к следующим значениям ширины компонента $\delta\Omega$, среднего периода $\bar{\Omega}$ и разброса¹⁾ в периодах по вспышкам $\Delta_1\Omega$ и внутри одной вспышки $\Delta_2\Omega$:

$$\bar{\Omega} = 0,058 \text{ см}^{-1}; \quad \Delta_1\Omega = \pm 0,021 \text{ см}^{-1}; \quad \Delta_2\Omega = \pm 0,005 \text{ см}^{-1};$$

$$\delta\Omega \cong 0,020 \text{ см}^{-1}; \quad \gamma_{\text{генер}} \cong 0,15 \text{ см}^{-1}.$$

Итак, средний период $\bar{\Omega}$ сравним со своей вариацией $2\Delta_1\Omega$ в разных вспышках, но существенно больше отступления от эквидистанности в пределах одного снимка $\Delta_2\Omega$; кроме того, $\Delta_2\Omega$ в четыре раза меньше ширины отдельного компонента $\delta\Omega$. Совокупность перечисленных соотношений и позволяет говорить о квазипериодической, дискретной структуре линии сверхсветимости.



Интерферограммы линии $\lambda = 4278\text{\AA} N_2^+$:
а — с полиэтиленовой пленкой перед эталоном Фабри — Перо; б, в, г, д — без пленки

Измерялась также частота самого интенсивного компонента, и ее разброс $\Delta\omega_m = \pm 0,44 \text{ см}^{-1}$ оказался близким к $\bar{\Omega}$. Наконец, расстояние между крайними компонентами структуры $0,143 \pm 0,048 \text{ см}^{-1}$ почти совпадало с шириной гладкого спектра $\gamma_{\text{генер}}$.

Внешний вид обнаруженной нами структуры линии и структуры в [1 — 5] практически одинаковый, и можно считать, что в обоих случаях мы имеем дело с одним и тем же явлением. Отличие состоит только в масштабе картины, который у нас на порядок больше. Подчеркнем, что ряд традиционно важных характеристик отличается очень сильно: линии молекулы и молекулярного иона у нас, — и линии атомов в [1 — 5]; уширение из-за взаимодействия, — и уширение допплеровское; ширины линий спонтанного испускания отличаются в десятки раз, а силы осцилляторов на три порядка. Столь большие изменения указанных парамет-

¹⁾Здесь и ниже "разброс" означает интервал с доверительной вероятностью 0,99.

ров позволяют думать, что расщепление линии есть общее свойство мощных импульсов сверхсветимости. Более того, оно присуще не только газоразрядным системам. Недавно обнаружена тонкая структура линий ВКР в кальците [7, 8] и в жидким азоте [8], удивительно похожая на нашу: примерно такое же число компонентов, стохастичность, квазипериодичность и т. д. Таким образом, эффект расщепления не зависит ни от способа возбуждения, ни от числа фотонов, участвующих в радиационном процессе.

5. Универсальность явления расщепления линии сверхсветимости (первое стоково ВКР подпадает под это название) побуждает искать достаточно общие причины. Стохастичность пространственных и спектральных характеристик объяснить легко: испускание импульсно инвертированных сред представляет собою усиленное спонтанное испускание и несет свойственные ему черты случайности. Известные соображения о сужении спектра излучения в усиливающей среде [9] касаются усредненных величин и отвечают нашему "гладкому спектру" линии. Дискретную структуру линии и пространственного распределения следует рассматривать как флуктуационные выбросы. В этом отношении есть полная аналогия с флуктуациями переходных процессов в стационарных лазерах (см., например, [10]) и с флуктуациями в излучении "обычных импульсных, резонаторных лазеров" [11]. Поэтому стохастичность сама по себе не очень интересна. Нетривиальна квазипериодичность (т. е. упорядоченность) флуктуационной спектральной структуры. Этот факт явно указывает на сугубо нелинейное преобразование спектра. Помимо общих соображений, в пользу нелинейности говорят два факта:

- 1) в безрезонаторных системах, работающих на сверхсветимости, произведение коэффициента усиления α на длину L активной среды порядка 20 и более, тогда как в резонаторных лазерах $\alpha L \lesssim 1$ или даже $\alpha L \ll 1$;
- 2) энергия взаимодействия dE атома с полем, по оценкам, $dE / (2\pi\hbar c) \sim 0,04 \text{ см}^{-1}$, что сравнимо с $\bar{\Omega}$.

Можно указать несколько нелинейных механизмов периодизации флуктуационной структуры спектра (расщепление контура коэффициента усиления в присутствии сильного поля, четырехфотонное резонансное рассеяние света, световое эхо). Каждый из них может привести к периодичности со случайной величиной периода. Однако, сделать между ними выбор на основании существующих сейчас данных затруднительно.

Мы считаем, таким образом, что стохастически-периодическая структура линии должна быть свойственна излучению любых импульсно-инвертированных систем с достаточно большим значением αL . Помимо указанных выше случаев (газоразрядные импульсные лазеры, ВКР), в разряд таких систем попадают ВРМБ и фотонная лавина при импульсном оптическом возбуждении по смежному переходу (такого рода опыты проводились, например, в парах калия [12] и фтористого водорода [13]).

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Литература

Поступила в редакцию
19 апреля 1974 г.

- [1] Ф.А.Королев, Г.В.Абросимов, А.И.Одинцов, В.П.Якунин. Оптика и спектроскопия, 28, 540, 1970.
[2] Г.В.Абросимов. Оптика и спектроскопия, 31, 106, 1971.

- [3] Ф.А.Королев, Г.В.Абросимов, А.И.Одинцов. Оптика и спектроскопия, 33, 725, 1972.
 - [4] Г.В.Абросимов. Канд. дисс., МГУ, Москва, 1971.
 - [5] Г.В.Абросимов, Н.Г.Андреев, А.И.Одинцов. Вестник МГУ, сер. "Физика, астрон.", 14, 287, 1973.
 - [6] В.И.Ищенко, В.Н.Лисицын, А.М.Ражев, В.Н.Старинский. Письма в ЖЭТФ, 19, 429, 1974.
 - [7] В.А.Чирков, Г.В.Перегудов, М.М.Сущинский. Доклад на XVII съезде по спектроскопии, 5 – 9 июля 1971 г. Минск. Сб. тезисов, стр. 49.
 - [8] Е.А.Морозова, А.И.Соколовская, М.М.Сущинский. ЖЭТФ, 65, 2161, 1973.
 - [9] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин, Ю.М.Попов. УФН, 72, 161, 1960.
 - [10] Е.В.Бакланов, С.Г.Раутиан, Б.И.Трошин, В.П.Чеботаев. ЖЭТФ, 56, 1120, 1969.
 - [11] В.И.Малышев, А.В.Масалов, А.А.Сычев. ЖЭТФ, 59, 48, 1970.
 - [12] Ю.М.Кирин, С.Г.Раутиан, В.П.Сафонов, Б.М.Черноброд. ЖЭТФ, 62, 466, 1972.
 - [13] N.Skribanowitz, I.P.Herman, J.C.MacJillivray, M.S.Feld. Phys. Rev. Lett., 30, 309, 1973.
-