

## НАБЛЮДЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОИОНИЗОВАННОЙ ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ

*Л.И.Гудзенко, С.Д.Кайтмазов, А.А.Медведев,  
Е.И.Шкловский*

В работах [1 – 5] показано, что короткие и сверхкороткие лазерные импульсы могут быть использованы для исследования быстрых релаксационных процессов в ряде веществ. В [1 – 3] проводились исследования быстрых процессов в плазме лазерной искры. Спектральный состав излучения лазерной искры анализировался в статье [6]. В настоящей работе проведено наблюдение динамического спектра излучения плазмы, образованной лазерным импульсом в парах натрия. Как известно, неравновесная высокоионизованная плазма достаточно большой плотности может служить источником интенсивного излучения в широком диапазоне характеристических частот атомов и ионов. Теоретическое рассмотрение кинетики плотной плазмы сейчас затруднено отсутствием надежных данных о вероятностях безызлучательных переходов. Тем большее значение приобретают экспериментальные исследования неравновесных процессов в такой плазме. Получение заметной неравновесности в заселенностях дискретных уровней предполагает быстрое введение в среду достаточной энергии. Поскольку существенные времена релаксации в плазме с концентрацией свободных электронов  $10^{16} \text{ см}^{-3}$  имеют порядок  $10^{-9} \text{ сек}$ , длительность светового импульса не должна превышать  $10^{-10} \text{ сек}$ .

При быстром и сильном нагреве плазмы естественно ожидать появления инверсности заселенности некоторых пар уровней. В случае плотной плазмы достаточно большой толщины инверсность должна сопровождаться резким повышением интенсивности соответствующих линий в первую очередь из-за того, что на этих частотах вклад в излучение вно-

сит вся плазма, а не сравнительно тонкий поверхностный слой, определяемый средней длиной свободного пробега фотонов. Из расчетов, проведенных в работе [7], следует, что неравновесная высокоионизованная плазма щелочных металлов может использоваться в качестве активной среды для лазеров с большим погонным коэффициентом усиления. В то же время использованные в [7] значения вероятностей столкновительных переходов щелочных металлов, определяющие в плотной плазме ход релаксации, известны пока недостаточно точно. Поэтому нами были проведены непосредственные наблюдения быстрых изменений интенсивностей спектральных линий высокоионизованных паров натрия плотностью  $10^{16}$  см<sup>-3</sup>. Динамический спектр излучения натрия регистрировался высокоскоростным фотохронографом с электронно-оптическим преобразователем. [8].

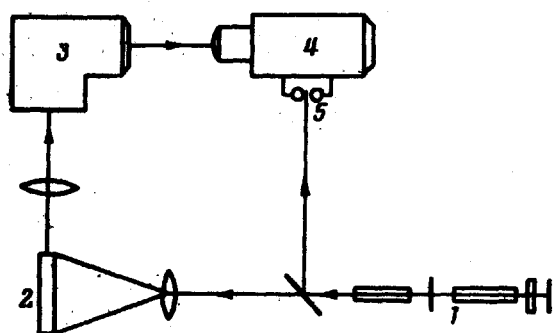


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — лазер, 2 — рабочая камера, 3 — спектрограф, 4 — фотохронограф, 5 — истрогой разрядник

Эксперимент проводился на установке, принципиальная схема которой изображена на рис. 1. Излучение лазера 1, работающего в режимах как гигантского импульса, так и серии сверхкоротких импульсов, вводилось в цилиндрическую рабочую камеру 2, соединенную с вакуумной установкой; требуемое давление паров натрия осуществляется регулируемым подогревом. В камере поддерживался тлеющий разряд для создания затравочной ионизации, обеспечивавшей начальное поглощение лазерного луча парами натрия. Излучение натриевой плазмы направлялось в спектрограф 3, изображение спектра которого проектировалось на временную щель фотохронографа типа ФЭР-2 4. На экране фотохронографа изображалась развертка спектра во времени. Спектр регистрировался с временным разрешением  $5 \cdot 10^{-11}$  сек. Синхронизация развертки фотохронографа с лазерным излучением достигалась тем, что 10% мощности лазера ответвлялась на истрогой разрядник 5, который входил в схему развертки фотохронографа и поджигался непосредственно лазерным лучом [3].

Наблюдения в видимой части спектра показали, что облучение натриевой плазмы плотности  $10^{15} + 10^{17} \text{ см}^{-3}$  лазером, работающим в режиме гигантского импульса ( $\sim 30 + 40 \text{ нсек}$ ), не приводит к заметному изменению спектрального состава излучения плазмы по сравнению со спектром тлеющего разряда в парах натрия. Это свидетельствует о том, что гигантский импульс не создает в плотной плазме достаточной неравновесности.

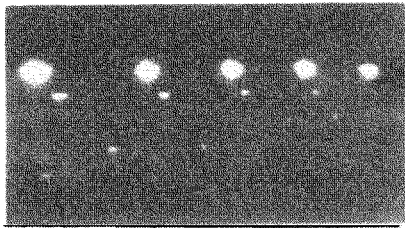


Рис. 2. Фотохронограмма спектра излучения натриевой плазмы. Верхний ряд — метки времени следующие с интервалом  $13 \text{ нсек}$ . Линиям плазмы соответствуют менее интенсивные метки на фотографии (длина волны линий убывает сверху вниз)

При облучении же сериями сверхкоротких ( $10^{-12} + 10^{-10} \text{ сек}$ ) импульсов характер излучения плазмы резко меняется. Типичная динамическая спектрограмма показана на рис. 2. Фотоснимки проводились на большой скорости развертки фотохронографа, при которой резонансному переходу  $3p - 3s$  натрия ("желтому дублету") на фотопленке соответствует слабая линия, практически исчезающая после второго или третьего лазерного импульса серии. Спектральные линии остальных, наиболее ярких при квазистатическом свечении плотной натриевой плазмы, переходов в этом случае на пленке не видны совсем. В то же время яркими отрезками длительностью в несколько наносекунд видны спектральные линии, соответствующие переходам, не наблюдаемым при квазистатическом свечении плазмы. Это интенсивное излучение, связанное с быстрой релаксацией плотной плазмы, появляется на спектрограмме каждый раз со своим для данного перехода запаздыванием после каждого сверхкороткого импульса в серии.

Обработка фотохронограмм показала, что импульсы в видимой части спектра соответствуют переходам  $4d - 3p$ ,  $5d - 3p$ ,  $6d - 3p$ . Яркости импульсов не менее чем в 50 раз превышают яркость желтого дублета. Кинетика излучения на перечисленных переходах (в частности крайне малое время высвечивания) указывают на возможность инверсности заселенностей.

Прибор ФЭР-2, на котором были выполнены наши скоростные измерения, создан коллективом авторов [8]; мы благодарны за помощь и консультации по работе А.М.Толмачеву, одному из создателей фотохронографа ФЭР-2.

Авторы искренне благодарны академику А.М.Прохорову за интерес к работе и ценные обсуждения.

Физический институт  
им.П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
14 марта 1969 г.

### Литература

- [1] С.Л.Мандельштам, П.П.Пашиин, А.М.Прохоров, Ю.П.Райзер, Н.К.Суходрев. ЖЭТФ, 49, 127, 1965.
- [2] С.Д.Кайтмазов, А.А.Медведев, А.М.Прохоров. ДАН СССР, 180, 1092, 1968.
- [3] Б.З.Горбенко, Ю.А.Дрожбин, С.Д.Кайтмазов, А.А.Медведев, акад. А.М.Прохоров, А.М.Толмачев. ДАН СССР, 187, 1969 (в печати).
- [4] В.К.Конюхов, В.М.Марченко, А.М.Прохоров. Оптика и спектроскопия, 20, 531, 1966.
- [5] Е.М.Золотов, А.М.Прохоров, Г.П.Шипуло. ФТТ, 11, № 4, 1969.
- [6] С.Л.Мандельштам, П.П.Пашиин, А.В.Прохиндеев, А.М.Прохоров, Н.К.Суходрев. ЖЭТФ, 47, 2003, 1964.
- [7] Б.Ф.Гордиец, Л.И.Гудзенко, Л.А.Шелепин. ЖЭТФ, 55, 942, 1968.
- [8] Б.З.Горбенко, Ю.А.Дрожбин, Д.Ф.Коринфский, А.М.Толмачев, В.А.Яковлев. Авторское свидетельство № 219227, 4/Ш-67 г, Биллеть № 18, 1968.

*Письма в ЖЭТФ, том 9, стр. 564 - 567*

*20 мая 1969 г.*

## ЧЕТЫРЕХФОТОННОЕ РЕЗОНАНСНОЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ОПТИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРАХ НА РАСТВОРАХ КРАСИТЕЛЕЙ

*Л.Д.Деркачева, А.И.Крымова*

В настоящей работе сообщается о наблюдении четырехфотонного параметрического взаимодействия в растворах красителей, приводящего к появлению в спектральной области излучения красителя узкой интенсивной линии с управляемой частотой.