

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО ХОДА РЕНТГЕНОВСКОГО СПЕКТРА АЛЮМИНИЕВОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

*Ю.С.Касьянов, М.А.Мазинг, В.К.Чевокин,
А.П.Шевелько*

Исследован временной ход спектральных линий водородо- и гелие-подобного ионов алюминия в рентгеновском спектре излучения лазерной плазмы. По отношению интенсивностей линий в спектре определена температура и плотность электронов с временным разрешением не хуже $1,8$ нсек.

Лабораторные рентгеновские источники типа лазерной плазмы открывают совершенно новые возможности в изучении спектров многозарядных ионов. Эти спектры содержат весьма обширную информацию об элементарных процессах, происходящих в плазме. В последнее время широкое развитие получили различные спектроскопические методы диагностики плазмы по спектрам водородо- и гелиеподобных ионов [1,2]. В связи с этим, значительную актуальность представляет изучение временного хода спектральных линий многозарядных ионов, что позво-

лило бы исследовать динамику развития лазерной плазмы и установить роль основных элементарных процессов в различные моменты времени.

В литературе нам известна лишь одна работа [3], где исследован временной ход двух отдельных линий многозарядных ионов в лазерной плазме. Использование в этой работе ФЭУ со сцинтиллятором в качестве приемника рентгеновского излучения не представляется перспективным из-за недостаточного временного разрешения ФЭУ ($\sim 2 \div 3$ нсек) и невозможности регистрации всей структуры спектра.

В настоящей работе исследован временной ход спектра алюминиевой лазерной плазмы в диапазоне длин волн $7 - 8 \text{ \AA}$. Использование светосильного рентгеновского спектрографа [4] и электронно-оптической камеры со сцинтиллятором на входе в качестве приемника излучения [5] позволило наблюдать полную структуру спектра: резонансные линии и их сателлиты водородо- и гелиевоподобного ионов алюминия. Временное разрешение метода определяется временем высвечивания сцинтиллятора τ , в настоящей работе $\tau \leq 1,8$ нсек. Одновременно с исследованием рентгеновского спектра проводилась регистрация падающего на мишень лазерного излучения.

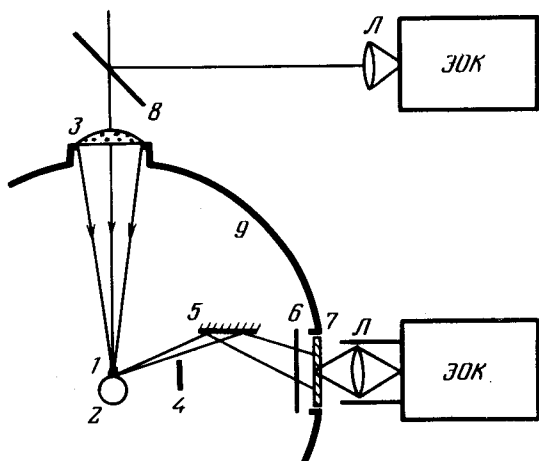


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — лазерная плазма, 2 — мишень, 3 — фокусирующая линза, 4 — экран, 5 — кристалл слюды, 6 — рентгеновский фильтр (полипропилен $4 \cdot \text{мкм} +$ алюминий $0,4 \text{ мкм}$), 7 — сцинтиллятор, 8 — пластинка, 9 — вакуумная камера, Л — объективы, ЭОК — электронно-оптические камеры

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Для нагрева плазмы использовался лазер на неодимовом стекле со следующими параметрами импульса: энергия 10 Дж , длительность 4 нсек . Излучение лазера фокусировалось на мишень линзой с $f = 300 \text{ мм}$, плотность потока на мишени $\sim 10^{14} \text{ вт/см}^2$.

Разложение рентгеновского излучения в спектр осуществлялось фокусирующим спектрографом по схеме Гамоша с вогнутым кристаллом слюды. Дисперсия спектрографа в 1 порядке спектра $0,083 \text{ \AA/мм}$.

Угол наблюдения рентгеновского излучения составлял $\sim 70^\circ$ по отношению к оси лазерного пучка. Спектр регистрировался электронно-оптической камерой, работающей в режиме щелевой развертки. Временная развертка спектра осуществлялась в направлении, перпендикулярном дисперсии спектрографа.

Результаты обработки временной спектрограммы приведены на рис. 2. Длительность излучения резонансной линии гелиевоподобного

иона Al^{XII} составляла по полувысоте ~ 4 нсек. Время излучения водородоподобного иона Al^{XIII} , измеренного по резонансной линии, заметно короче и менялось от 1,8 до 3,5 нсек.

$I, \text{отн. ед}$

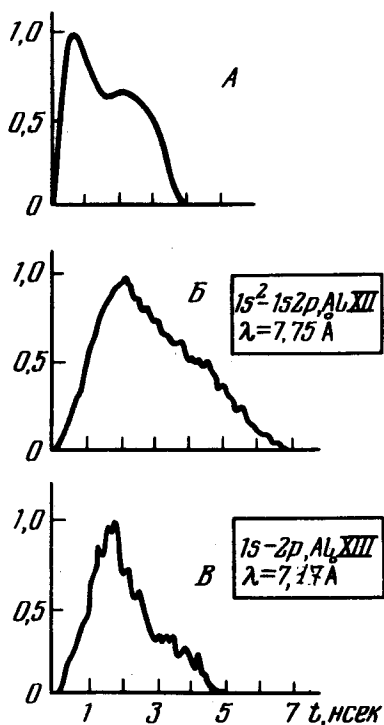


Рис. 2. Временная развертка излучения резонансных линий гелие- и водородоподобного ионов алюминия в лазерной плазме: А — падающий лазерный импульс, В — излучение резонансной линии $1s^2-1s2p$ иона Al^{XII} , В — излучение резонансной линии $1s-2p$ иона Al^{XIII}

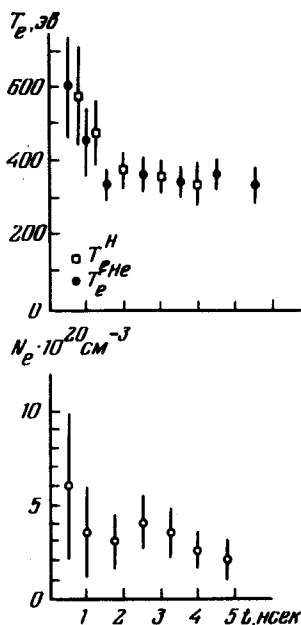


Рис. 3. Экспериментальные значения температуры T_e и плотности N_e электронов в различные моменты времени

По отношению интенсивностей линий в спектре определен временной ход температуры и плотности электронов. Температура электронов

T_e определялась по отношению интенсивностей диэлектронных сателлитов к резонансным линиям соответствующего иона [6, 7]. Значение T_e^H получено из отношения суммарной интенсивности диэлектронных сателлитов к интенсивности резонансной линии иона AlXIII. Основной вклад в интенсивность сателлитов дают переходы $1s2p^1P_1 - 2p^2^1D_2$, $1s2s^1S_0 - 2s2p^1P_1$ и $1s2s^3S_1 - 2s2p^3P_2$. Величина T_e^{He} получена из отношения интенсивности сателлитов $1s^22p^2P_{1/2,3/2} - 1s2p^2^2D_{3/2,5/2}$ к резонансной линии иона AlXII. Плотность электронов N_e определена из отношения интенсивностей интеркомбинационной и резонансной линий иона AlXII на основе данных работ [8].

Результаты измерений температуры и плотности электронов в различные моменты времени приведены на рис. 3. Величины T_e^H и T_e^{He} совпадают в пределах погрешности измерений. В начальный момент времени, соответствующий переднему фронту рентгеновского импульса, температура электронов имеет максимум $T_e \sim 600$ эв, затем спадает до постоянного значения $T_e \sim 350$ эв. Плотность электронов имеет величину $(2 \div 5) \cdot 10^{20}$ см⁻³ в течение импульса.

В заключение авторы выражают благодарность Л.А.Вайнштейну и Л.П.Преснякову за интерес к работе, А.Н.Комиссарову за помощь при проведении эксперимента.

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

Поступила в редакцию
9 марта 1977 г.

Литература

- [1] Л.П.Пресняков. УФН, 119, 49, 1976.
- [2] В.А.Бойко, С.А.Пикуз, А.Я.Фаенов. Препринт ФИАН, №17, 1976.
- [3] J.-C. Couturaud, C. Faure. Opt. Comm., 17, 103, 1976.
- [4] А.П.Шевелько. Квантовая электроника. В печати.
- [5] Г.И.Брюхневич, Ю.С.Касьянов, Б.М.Степанов, В.К.Чевокин, М.Я.Шелев. ПТЭ, 6, 228, 1975.
- [6] A.H. Gabriel, C. Jordan. Interaction of spectral intensities from Laboratory and Astrophysical plasmas. Chapt. 4. In: "Case studies in atomic collision physics", 2, 209, 1972.
- [7] Е.В.Аглицкий, В.А.Бойко, А.В.Виноградов, Е.А.Юков. Квантовая электроника, 1, 579, 1974.
- [8] А.В.Виноградов, И.Ю.Скобелев, Е.А.Юков. Квантовая электроника, 2, 1165, 1975.