

# НАБЛЮДЕНИЕ АНОМАЛИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ОБЛАСТИ $58 + 78\text{Å}$ НА ПЕРЕХОДАХ $\text{Cl VII}$ ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТОМ НАГРЕВЕ ПЛАЗМЫ УЛЬТРАКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

А.Н. Жерихин, К.Н. Кошелев, П.Г. Крюков,  
В.С. Летохов, С.В. Чекалин

Экспериментально обнаружено anomальное увеличение интенсивности ряда линий в области  $58 + 78\text{Å}$ , соответствующих переходам иона  $\text{Cl VII}$  из автоионизационных состояний.

1. Лазерная плазма является одной из наиболее подходящих сред для получения усиления в области далекого ВУФ и мягкого рентгена [1], и для этой цели предложено несколько конкретных схем возбуждения многозарядных ионов (см. обзор [2]). В частности, с помощью коротких лазерных импульсов можно реализовать так называемый двухступенчатый нагрев плазмы, когда первый лазерный импульс создает плазму с ионами требуемой кратности ионизации, а второй импульс ультракороткой длительности осуществляет дополнительный быстрый нагрев электронов плазмы [3, 4]. В настоящей статье сообщается об обнаружении аномалий интенсивности линий излучения  $\text{Cl VII}$  при таком нагреве.

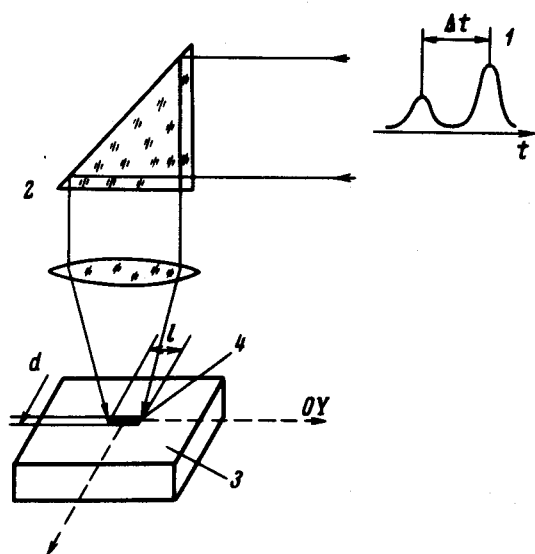


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – временная структура лазерного излучения, 2 – система фокусировки излучения, 3 – мишень из  $\text{KCl}$ , 4 – плазменный шнур с указанными направлениями наблюдения спектра  $OX$  и  $OY$

2. В экспериментах использовалась лазерная установка с задающим генератором на алюмо-иттриевом гранате и многокаскадным усилителем на неодимовом стекле [5]. Для реализации двухступенчатого нагрева формировались два ультракоротких импульса (УКИ) с длительностью по  $0,25 \text{ нсек}$ . Интервал между импульсами  $\Delta t$  мог изменяться от 0 до  $1,5 \text{ нсек}$ . Второй импульс имел энергию в 3,2 раза большую, чем первый. Суммарная энергия импульсов колебалась от 6 до 8 дж.

Излучение лазера фокусировалось специальным объективом на мишень из КС1 в вытянутое пятно шириной  $d = 0,1$  мм и длиной  $l = 1,5$  мм.

Спектры излучения плазмы в области  $50 - 800\text{Å}$  регистрировались с помощью спектрографа ДФС-6 на фотопленке УФ-4. Спектры наблюдались вдоль и поперек оси плазменного шнура, как показано на рис. 1. Расстояние от плазмы до щели спектрографа составляло  $40$  мм, ширина щели —  $6$  мм; высота спектральных линий определялась кассетой спектрографа и составляла  $1$  см, что соответствовало углу наблюдения  $\sim 0,03$  рад. Каждый спектр получался за  $10$  лазерных вспышек.

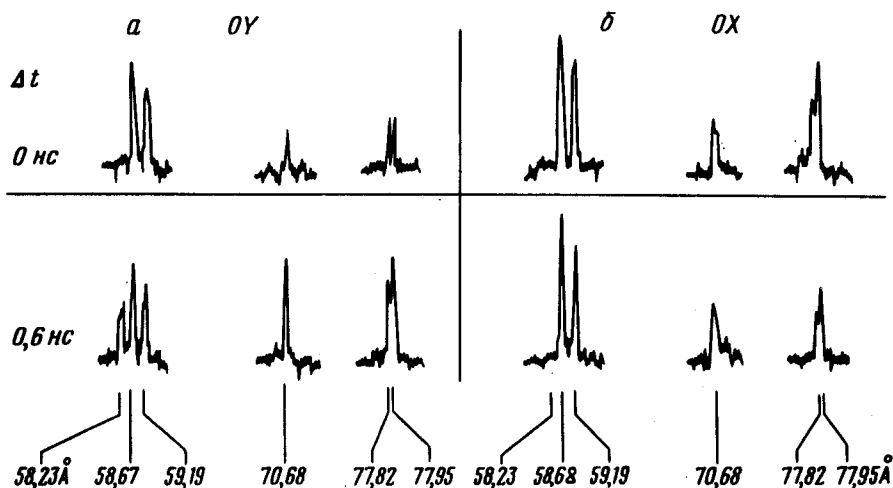


Рис. 2. Денситограммы спектров для различных значений  $\Delta t$  при продольном (а) и поперечном (б) наблюдении

3. При наблюдении вдоль оси плазменного шнура было обнаружено увеличение интенсивности линий  $\lambda = 58,23\text{Å}$ ;  $\lambda = 70,68\text{Å}$ ;  $\lambda = 77,82\text{Å}$  и  $\lambda = 77,95\text{Å}$ , зависящее от  $\Delta t$ . На рис. 2 приведены соответствующие участки спектров для различных  $\Delta t$  при наблюдении вдоль (рис. 2, а) и поперек (рис. 2, б) оси плазменного шнура. На рис. 2 видно, что относительные интенсивности резонансных переходов  $\text{Cl VII } (2s^2 2p^6 - 2s^2 2p^5 3s, \lambda = 58,67\text{Å}; \lambda = 59,19\text{Å})$  не зависели от направления наблюдения. Поэтому они использовались для нормировки интенсивности линий с аномальным поведением.

При  $\Delta t = 0$  линия  $\lambda = 58,23\text{Å}$  не наблюдалась вовсе. Интенсивности линий  $\lambda = 70,68\text{Å}$  и  $\lambda = 77,82\text{Å}$  практически не зависели от направления наблюдения. Линия  $\lambda = 77,95\text{Å}$  при наблюдении поперек оси шнура была в  $1,3$  раза интенсивнее, чем при продольном наблюдении. При  $\Delta t = 0,6$  нсек наблюдалось увеличение интенсивности этих линий при продольном наблюдении. Увеличение было максимальным для линии  $\lambda = 58,23\text{Å}$ . Ее интенсивность при продольном наблюдении превышала интенсивность при поперечном наблюдении не менее, чем в пять раз.

При дальнейшем увеличении  $\Delta t$  наблюдалась тенденция к выравниванию интенсивностей этих линий при продольном и поперечном наблюдении (при  $\Delta t = 1$  нсек отношение интенсивностей для  $\lambda = 58,23\text{Å}$  составило  $1,5$ ).

4. Дополнительные эксперименты проводились при нагреве плазмы одиночным импульсом длительностью 1,2 нсек. Лазерное излучение фокусировалось в пятно с  $l = 1,5$  мм, либо с  $l = 3$  мм, причем плотность потока излучения на мишени в обоих случаях поддерживалась одинаковой ( $\sim 10^{13}$  вт/см<sup>2</sup>). В этих экспериментах сравнивались спектры только при продольном наблюдении. С увеличением  $l$  от 1,5 до 3 мм в спектре появилась линия  $\lambda = 58,23 \text{ \AA}$  (ее относительная интенсивность возросла не менее, чем в пять раз), и в два раза возросли относительные интенсивности других линий, проявляющих аномалию при двухступенчатом нагреве.

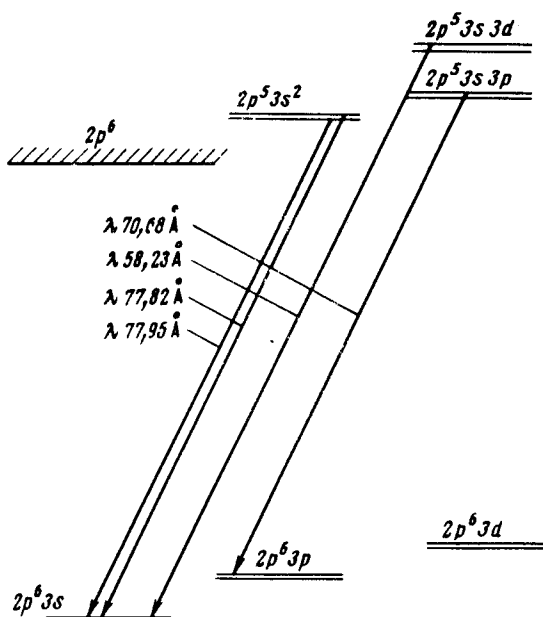


Рис. 3. Схема рассматриваемых уровней и переходов с аномальной интенсивностью линий излучения иона Cl VII

5. Идентификация линий с аномальным поведением показала, что они соответствуют переходам из дважды возбужденных автоионизационных состояний иона Cl VII ( $2s^2 2p^5 3l 3l'$ ) в состояние типа  $2s^2 2p^6 3l'$  (рис. 3).

6. Аномальное поведение интенсивности линий может быть вызвано либо поглощением во внешних слоях плазмы, либо усилением вдоль оси плазменного шнура. Однозначную интерпретацию сделать довольно трудно, так как отсутствуют данные о пространственном распределении электронов и ионов в плазменном шнуре. Поглощение излучения на ионах Cl VII в нижних состояниях должно было бы приводить к выравниванию интенсивностей в компонентах дублета  $2s^2 2p^6 3s \rightarrow 2s^2 2p^5 3s^2$ . Однако для  $\Delta t = 0,6$  нсек отношение интенсивностей этих линий не зависело от направления наблюдения. Такой факт трудно объяснить в предположении сильного поглощения.

Увеличение интенсивности линий с аномальным поведением при удлинении плазменного шнура также трудно интерпретировать в рамках механизма поглощения. С другой стороны, предположение о существовании усиления может объяснить аномальное поведение интен-

сивностей этих линий. При таком предположении коэффициент усиления на линии  $\lambda = 58,23\text{Å}$ , должен составлять  $\sim 10 \text{ см}^{-1}$ .

Окончательное выяснение механизма наблюдаемых аномалий интенсивностей требует постановки дальнейших экспериментов на более мощных лазерных установках.

Авторы благодарны профессору И.И.Собельману, Э.Я.Кононову, А.Н.Рябцеву и С.С.Чурилову за полезные обсуждения.

Институт спектроскопии  
Академия наук СССР

Поступила в редакцию  
3 марта 1977 г.

### Литература

- [ 1 ] А.В.Виноградов, И.И.Собельман. ЖЭТФ, 63, 2113, 1972.
  - [ 2 ] R.W.Waynant, R.C.Elton. Proc. IEEE, 64, 1059, 1976.
  - [ 3 ] I.N.Knyazev, V.S.Letokhov. Optics Comm., 3, 332, 1971.
  - [ 4 ] А.Н.Жерихин, К.Н.Кошелев, В.С.Летохов. Квантовая электроника, 3, 152, 1976.
  - [ 5 ] А.Н.Жерихин, Ю.А.Матвеев, С.В.Чекалин. Квантовая электроника, 3, 1585, 1976.
-