

ПОЛУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ ПРИ ФОКУСИРОВКЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА ТВЕРДУЮ МИШЕНЬ

*И.Г. Басов, В.А.Бойко, Ю.П.Войнов, Э.Я.Косонов,
С.Л.Мандельштам, Г.В.Склизков*

Излучение лазера в режиме модулированной добротности, сфокусированное на поверхность твердой мишени вызывает образование плотной высокотемпературной плазмы из материала мишени. При разлете такой плазмы регистрируются ионы с энергией в несколько киловольт [1,2]. Как казано в [3], излучение этой плазмы содержит линии многократно ионизованных атомов. В настоящем сообщении приводятся некоторые результаты исследования такого плазменного сгустка.

Световой импульс излучения лазера на стекле, активированном неодимом, фокусировался линзой ($F=100$ мм) на мишень, помещенную в вакуум $\sim 10^{-5}$ мм рт.ст. Лазер состоял из генератора, управляемого ячейкой Керра, и двух усилителей. Суммарная длина неодимовых стержней диаметром 15 мм составляла 720 мм. Между генератором и усилителем помещалась вторая ячейка Керра для обострения переднего фронта импульса до 4 нсек. Длительность импульса на полувысоте равнялась 15 нсек при энергии 10 Дж.

Разлет плазмы регистрировался по свечению с помощью скоростного фоторегистратора. Скорость разлета при использовании алюминиевой мишени к концу нагревающего импульса равнялась $\sim 10^7$ см/сек, что соответствует энергии ионов Al на краю плазмы ~ 1000 эв. Согласно измерениям теневым методом в лазерном луче к концу импульса плазма имеет размер $\sim 1,5$ мм. При этом, оценки плотности нагретой плазмы по коэффициенту поглощения лазерного излучения в предположении, что тепловая энергия по порядку величины сравнима с энергией импульса излучения лазера, дают среднее по объему значение $N_e \sim 10^{20}$.

Излучение плазменного сгустка в вакуумной ультрафиолетовой области спектра (40-2000 Å) регистрировалось спектрографом ДФС-6 в направлении, перпендикулярном лазерному пучку. При использовании мишени из алюминия был получен спектр, содержащий линии Al VI-Al XI. Резонансные линии Al XII лежат короче 10 Å и не могут регистрироваться данным при-

бором. Для того, чтобы изучить локализацию излучения плазмы, щель спектрографа была ограничена по высоте до 0,5 мм. При этом по распре-

Т а б л и ц а

Ион	$\lambda, \text{Å}$	Интенсивность	Переход
Ca XII	141,036*	10	$2S^2 2p^5 \ ^2P_{3/2}^0 - 2S 2p^6 \ ^2S_{1/2}$
	147,273*	9	$\ ^2P_{1/2}^0 - \ ^2S_{1/2}$
Ca XIII	131,23	9	$2S^2 2p^4 \ ^1D_2 - 2S 2p^5 \ ^1P_1^0$
	148,84	1	$\ ^1S_0 - \ ^1P_1^0$
	156,70	5	$\ ^3P_2 - \ ^3P_1^0$
	159,87	3	$\ ^3P_1 - \ ^3P_0^0$
	161,748*	8	$\ ^3P_2 - \ ^3P_2^0$
	162,98	1	$\ ^3P_1 - \ ^3P_1^0$
	164,15	2	$\ ^3P_0 - \ ^3P_1^0$
	168,412*	5	$\ ^3P_1 - \ ^3P_2^0$
Ca XIV	128,25	0	$2S^2 2p^3 \ ^2D_{3/2}^0 - 2S 2p^4 \ ^2P_{1/2}$
	132,95	00	$\ ^2D_{3/2}^0 - \ ^2P_{3/2}$
	134,31	3	$\ ^2D_{5/2}^0 - \ ^2P_{3/2}$
	148,11	0	$\ ^2P_{3/2}^0 - \ ^2P_{3/2}$

* Идентифицированы Эдленом [4].

делению почернения вдоль линий на спектрограмме было установлено, что ионы наиболее высоких кратностей излучают из области размерами 1-2 мм, в то время как область свечения линий Al VIII-Al VI несколько больше.

С целью изучения возможностей такого рода источника спектра в качестве второй мишени был выбран металлический кальций. Исследование спектра многократно ионизованных атомов кальция представляет большой интерес для астрофизики особенно при расшифровке спектрограмм излучения Солнца, полученных в вакуумной ультрафиолетовой области на спутниках и ракетах [4-6]. До сих пор в рассматриваемой области спектра для ионов Ca, кратностью выше Ca XI, в лабораторных условиях зарегистрированы лишь две линии Ca XII и две слабые линии Ca XIII, при этом в качестве источника спектра использовалась вакуумная искра [4,7].

В нашем эксперименте была получена спектрограмма, на которой имеются линии Ca X, уже упомянутые линии Ca XII и Ca XIII и идентифицирован ряд новых линий Ca XIII и Ca XIV. Линии Ca XI лежат вне области наблюдения. Результаты измерения длин волн и отождествления приведены в таблице. В качестве стандартов длин волн использованы линии Ca X, измеренные Эдленом [8]. Отождествление ранее неизвестных линий Ca XIII и Ca XIV производилось путем экстраполяции вдоль изоэлектронных рядов 0I и 1I. Две линии $\lambda = 148,84 \text{ \AA}$ и $\lambda = 148,11 \text{ \AA}$ отождествлены с некоторой неопределенностью, поскольку их экстраполированные значения близки друг к другу и лежат в пределах ошибки, возникающей в процессе экстраполяции. Точность измерений длин волн составляет $\pm 0,05 \text{ \AA}$.

Очень грубая оценка электронной температуры плазмы может быть произведена по величинам ионизационных потенциалов наблюдавшихся ионов. Учитывая приведенные выше результаты измерений Ne можно показать, что для плазмы в этих условиях в предположении максвелловского распределения электронов по энергиям применимо так называемое корональное приближение [9] в распределении атомов по степеням ионизации:

$$\frac{n_{i+1}}{n_i} \approx \frac{7,4 \cdot 10^8 \exp E \left(\frac{\chi_i}{T_e} \right)}{T_e^2 \left(\frac{\chi_i}{T_e} \right)^3},$$

где T_e и χ_i в эв.

Принимая для Ca XIII $\chi_i = 728,8 \text{ эв}$, получаем значение $T_e \sim 130 \text{ эв}$ при

$$\frac{n_{\text{Ca XIV}}}{n_{\text{Ca XIII}}} \approx 1.$$

$n_{\text{Ca XIII}}$

В заключение авторы приносят глубокую благодарность О.Н.Крохицу и И.Л.Бейгману за обсуждение результатов работы.

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

Поступило в редакцию
21 декабря 1966 г.

Литература

- [1] A.F.Haught, D.H.Polk. Conference on plasma physics and controlled nuclear fusion research, Culham, 1965.
- [2] Н.Г.Басов, В.А.Бойко, В.А.Дементьев, О.Н.Крохин, Г.В.Склизков. ЖЭТФ, 51, 989, 1966.
- [3] B.C.Fawcett, A.H.Gabriel, F.E.Irons, N.I.Peacock, P.A.H.Saunders. Proc. Phys. Soc. 88, 1051, 1966.
- [4] B.Edlén. Z.Astrophys. 22, 30, 1942.
- [5] F.Rohrlich, Ch Pecker. Ap. J. 138, 1246, 1963.
- [6] H.Zirin. Ap. J. 140, 546, 1964.
- [7] C.E.Moore. Atomic Energy Levels. Circular of NBS N 467. Washington, 1, 1949.
- [8] B.Edlén. Z.Physik, 100, 621, 1936.
- [9] G.Elwert. Z.Naturforsch. 7a, 432, 1952.