

SU 8806396

ИФ - Р - - 6 - 266

Р-6-266

Январь 1987

М.Р.Бедялов, Д.Курамагов, Т.Г.Цой,
А.Холбаев, К.Хайтбаев

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ИОНОВ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА
СОБЕСТНО РАЗЛЕТАЮЩИХСЯ В СОСТАВЕ
МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Печатается по постановлению редколлегии
препритов ИФФ АН УССР от 11.11.86

Приводятся результаты исследования энергетического распределения ионов золота и серебра совместно разлетающихся в составе многоэлементной плазмы. Показано, что в стадиях формирования и разлета многозарядных ионов (МЗИ) многоэлементной плазмы, существенный вклад вносят столкновительные процессы между электронами и ионами, а ионами легких и тяжелых элементов. Результаты обсуждаются на основе существующих теоретических моделей.

jointly experiment
The results of the investigations on energy distribution of Au and Ag ions scattering together in the composition of multielement plasma are presented. It is demonstrated, that on the stages of *laser excitation* formation and scattering of multielement plasma multicharged ions *of* considerable contribution is made by collision processes between electrons and ions and between ions of light and heavy elements. The results are discussed on the basis of existing theoretical models.

В В Е Д Е Н И Е

Согласно /1-6/, важную роль в процессах ионизации и рекомбинации многоэлементной лазерной плазмы играет взаимное влияние ионов тяжелых и легких элементов. В этих исследованиях в состав многоэлементной мишени специально были введены примеси тяжелых элементов в одном случае примеси золота (в известных концентрациях /1-3/), в другом - примеси серебра /4-6/. При этом была установлена неоднозначность рекомбинации для различных сортов ионов. Это привело к существенному изменению зарядового состава, диапазона распределения ионов в энергетическом спектре. Например, из-за селективного уменьшения рекомбинационных потерь высокозарядных ионов золота многоэлементной плазмы, в масс-спектре четко проявляются пачки ионов Au с $Z \geq 2$, а ионы с $Z = 1$ менее интенсивны, кратность заряда легких элементов не более $Z \leq 2$. С увеличением концентрации золота в составе мишени энергетический диапазон ионов с $Z \geq 3$ возрастает в сторону больших энергий, однако при этом максимальная кратность заряда не изменяется. В отличие от золота энергетический спектр многоэлементной плазмы серебра имеет предельный характер, который зависит от концентрации Ag в составе мишени /5/. В частности, с повышением концентрации Ag от 1,0 до 6,0 г/Т в мишени, энергетический спектр МЭИ серебра расширяется в сторону больших энергий и имеет несколько максимумов. Дальнейшее повышение концентрации Ag в мишени приводит к сужению диапазона энергетического спектра.

В настоящей работе сообщается о процессе ионизации и энергетических распределениях многозарядных ионов золота и серебра, совместно входящих в состав многоэлементной мишени. Плазма создавалась при воздействии лазерного излучения на мишень из геологических пород, содержащих Au и Ag в широких пределах концентраций. Исследования проводились на лазерном брэндровском масс-спектрометре при

в экспериментальных условиях, описанных в работах /1-3/.

Результаты и их обсуждение

Анализ масс-спектров ионов многоэлементной плазмы, полученной из мишени, содержащей примеси золота и серебра, показал, что распределение ионных пиков легких и тяжелых элементов существенно определяется по кратности заряда, интенсивности и энергетическим диапазонам. На рис. 1 приведены масс-спектры многоэлементной плазмы, содержащей ионы золота и серебра.



Рис. 1. Масс-спектры многоэлементной плазмы, содержащей ионы золота и серебра. Концентрация Au и Ag в мишени 1,0 и 4,8г/т, соответственно

Отсюда видно, что пики ионов с $Z = 1$ и 2 менее интенсивны, чем высокозарядные и пики ионов элементов основы мишени. С повышением концентрации золота и серебра от 1,0 до 20 г/Т (в пропорциях, например, для *Au* и *Ag* 1,0 и 4,6 3,8 и 11,6 г/Т и т.д., соответственно), пики ионов золота становятся более интенсивными. Однако для золота они наблюдаются в узком энергетическом интервале. В отличие от ионов золота, пики ионов серебра в масс-спектре появляются регулярно лишь для $Z = 1$ и они менее интенсивны. При этом энергетический диапазон ионов серебра больше, чем золота. Независимо от концентраций золота и серебра в мишени максимальная кратность заряда ионов остается одинаковой, как в случае моно-, так и многоэлементной мишени, т.е. $Z = 6$. К изменению плотности мощности лазерного излучения от $5 \cdot 10^{11}$ Вт/см² до 10^9 Вт/см² пики ионов золота более чувствительны, чем пики ионов серебра. При 10^9 Вт/см² пики *Au* и *Ag* в масс-спектре исчезают полностью.

В масс-спектре наиболее интенсивно и регулярно наблюдаются пики ионов элементов основы мишени таких, как *Li*, *Be⁺*, *Be²⁺*, *B⁺*, *B²⁺*, *C⁺*, *C²⁺*, *C³⁺*, *N⁺*, *O⁺*, *O²⁺*, *Na⁺*, *Na²⁺*, *Mg⁺*, *Al*, *Si*, *S* и др., которые имеют максимальные кратности заряда не более 3. Следует подчеркнуть, что в мишени основную часть составляют легкие элементы, о чем свидетельствуют и интенсивности пиков ионов.

Перечисленные различия в масс-спектрах ионов легких и тяжелых элементов свидетельствуют о неравномерности процессов ионизации и рекомбинации протекающих в многоэлементной плазме.

При изучении энергетических спектров ионов золота и серебра, входящих в состав многоэлементной плазмы, установлено, что характер их энергетических распределений определяется не только величиной *Q* лазера, природой и концентрацией примесного элемента в составе ми-

шени, а также процессами взаимного влияния ионов элементов основы мишени и ионов Au и Ag в стадиях формирования и разлета.

На рис.2 (а,б) представлены энергетические спектры ионов золота и серебра многоэлементной плазмы, где концентрация примесного Au и Ag 1,0 и 4,8 г/Т, соответственно. Как видно из энергетического спектра МЭИ Au , интенсивность максимумов и ширина энергетического диапазона ионов с $Z = 1$ и 2 меньше, чем в случае моноэлементной плазмы [7,8] и намного отличается от спектра ионов Ag . Уменьшение плотности мощности лазера от $5 \cdot 10^{11}$ до $3 \cdot 10^{10}$ Вт/см² приводит к возникновению дополнительных максимумов в низкоэнергетической области спектра, а в целом - к сужению их энергетических диапазонов.

Отметим, что в случае серебра (рис.2,б) спектры ионов, особенно с $Z = 2, 3, 5$, имеют несколько максимумов в энергетическом распределении. В высокоэнергетических областях в интервале 1,5 + 4,0 кэВ наблюдаются наиболее интенсивные рекомбинационные максимумы. Однако в целом энергетический диапазон спектров ионов Ag , полученных при $q = 5 \cdot 10^{11}$ Вт/см², меньше, чем при тех же значениях q для моноэлементной плазмы Ag [5]. Здесь также, как в случае Au , ширина и интенсивность спектров однозарядных ионов меньше, чем для $Z > 2$.

В целом максимальная энергия E_{max} ионов Ag больше E_{max} ионов Au .

Увеличение концентрации Au и Ag в мишени по разному влияет на состояние энергетических спектров. На рис.3 (а,б) показаны энергетические спектры ионов Au и Ag с $Z = 3$ в зависимости от их концентрации в мишени. Отметим, что в рассмотренном нами случае концентрация Au в мишени была меньше, чем Ag . Из приведенных спектров видно, что с ростом концентрации Au (рис.3,а) от 1,0 до 5,2 г/Т число максимумов в распределении уменьшается до одного, и

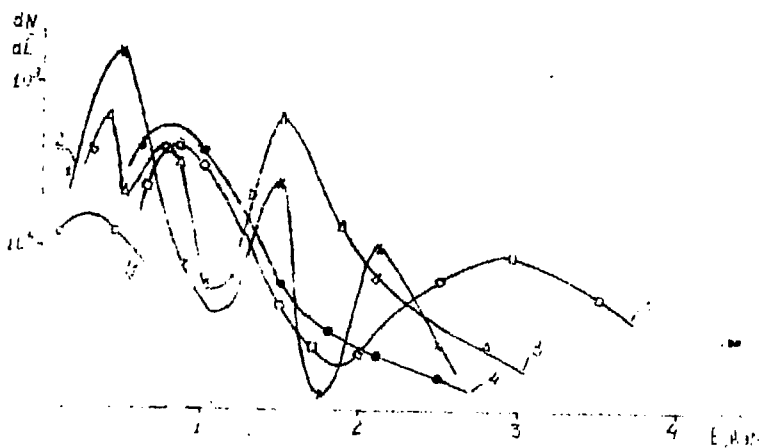
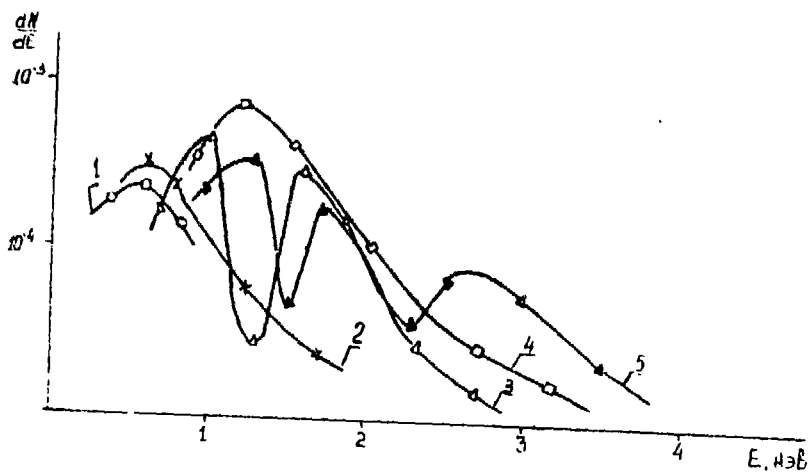


Рис.2. Энергетические спектры ионов золота (а) и серебра (б) при концентрации Au и Ag в мишени $1,0 \pm 4,8$ г/Т, соответственно

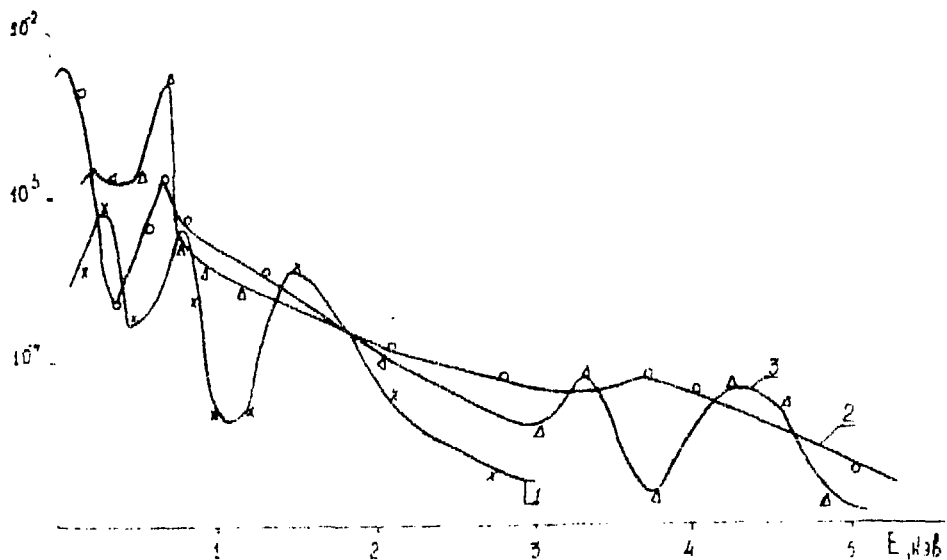
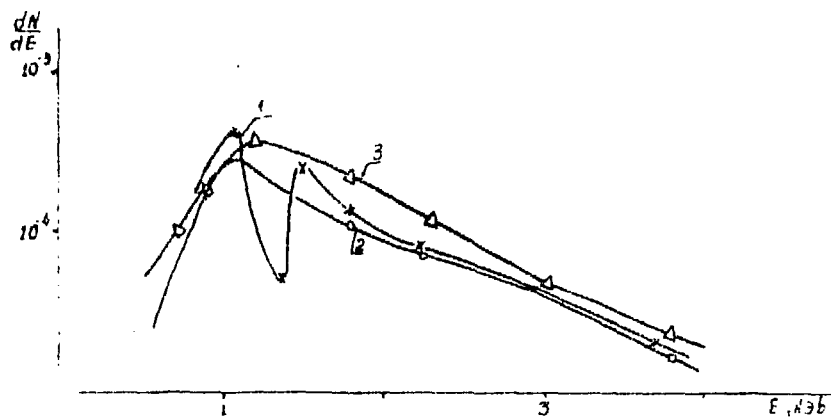


Рис.3. Энергетические спектры ионов Li (а) с $Z = 3$ при концентрациях 1,0 (1); 3,8 (2); 5,2 (3) г/Т и Ag (б) 4,8(1); 11,6(2); 17,6(3) г/Т, соответственно.

происходит сдвиг в сторону больших энергий. Наиболее существенное изменение наблюдается в спектрах ионов Ag . В отличие от случая многокомпонентной плазмы, содержащей МЭИ серебра /5/, где повышение концентрации Ag от 6 г/Т привело к сужению диапазона энергетического спектра ионов, в данном случае с ростом концентрации Ag в мишени от 4,8 до 17,6 г/Т (рис.3,б) наблюдалось возрастание числа максимумов в спектре ионов. В высокоэнергетической части спектра появляются дополнительные максимумы и диапазон их энергетического распределения шире, что свидетельствует о сильностолкновительных процессах и рекомбинации между легкими ионами элементов основы мишени и ионами Au и Ag . Энергетические спектры ионов элементов

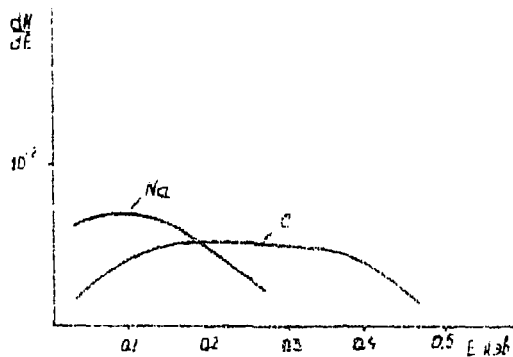


Рис.4. Энергетические спектры ионов легких элементов многоэлементной плазмы

основы мишени имеют по одному максимуму, которые находятся в низкоэнергетической части (см. рис. 4), что соответствует результатам работ /8,9/. В рассматриваемом случае, когда атомы примесных тяжелых элементов золота и серебра, совместно участвуют в процессе ионизации и разлете многокомпонентной плазмы, основные характеристики ионов определяли в следующем:

1. В масс-спектре хорошо разрешаются пики МЭИ как золота, так и серебра.

2. Сохраняется селективное уменьшение рекомбинационных потерь для высокозарядных ($Z \geq 2$) ионов золота и серебра.

3. С ростом концентрации золота и серебра в мишени сильно изменяется структура их энергетического спектра; для спектра ионов Au число максимумов уменьшается, а для ионов Ag увеличивается и возрастает энергетический диапазон.

4. Наиболее интенсивны пики ионов элементов основы мишени, однако максимальная кратность их заряда не более 3.

Анализ экспериментальных данных на основе теоретических работ, полученных для алюминиевой и дейтериево-углеродной плазмы /10/ показал, что основными процессами в формировании зарядовых и энергетических спектров ионов многоэлементной лазерной плазмы являются неупругие процессы, такие как ионизация электронным ударом, фоторекомбинация, тройная рекомбинация на основной уровень с электроном в качестве третьей частицы, тормозное поглощение подающего на плазму излучения, тормозное излучение, электронная теплопроводность, обмен энергией между электронами и ионами.

В рассматриваемом случае при совместном разлете ионов Au и Ag в составе многоэлементной плазмы значительный вклад в формирование зарядового и энергетического спектров вносят столкновительные процессы как между электронами и ионами, так и между ионами

10

легких и тяжелых элементов. В пользу этого предположения можно привести экспериментальные данные /8/, где рассматривался совместный разлет газовых и металлических ионов, а также многозарядных ионов многоэлементной плазмы оптически прозрачных тел /9/. Характерно, что с ростом концентрации неодима в многоэлементной мишени /9/ максимальный заряд ионов элементов основы стекла снижается до $1 \div 2$, а энергия уменьшается в 2 раза. При этом интенсивность пучков МЗИ неодима больше и их максимальная энергия возрастает. В силу указанных процессов в многоэлементной плазме, содержащей ионы тяжелых элементов, экспериментально обнаружено возрастание времени эффективного нагрева, которое происходит за счет увеличения времени жизни плазмы /11/.

Полученные результаты представляют интерес для объяснения сложных явлений, происходящих в многоэлементной плазме и для создания универсального лазерного метода анализа веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедиллов М.Р., Хабибуллаев П.К., Курамамов Д. Влияние элементного состава мишени на образование многозарядных ионов лазерной плазмы. Препринт ИФФ АН УзССР, Р-6-67, Ташкент, 1982.
2. Курамамов Д. Исследование масс-спектров ионов лазерной плазмы сложного элементного состава. Автореферат дис. канд. физ.-мат. наук, М.; 1982.
3. Бедиллов М.Р., Хабибуллаев П.К., Курамамов Д. Особенности разлета многозарядных ионов золота в многокомпонентной плазме. Докл. АН УзССР, № 8, с.22-24, 1983.
4. Бедиллов М.Р., Курамамов Д., Хабибуллаев П.К., Халибаев А. Энергетическое распределение ионов серебра в многоэлементной лазерной плазме. Докл. АН УзССР, №8, с.21-23, 1985.

5. Бедиллов М.Р., Быковский Ю.А., Курамагов Д., Холбаев А., Хаитбаев К. Исследование процесса разлета ионов серебра в составе многоэлементной плазмы. Препринт ИЯФ АН УзССР, Р-6-163, с.12, 1984.
6. Бедиллов М.Р., Быковский Ю.А., Курамагов Д., Шарков Б.Б. Особенности эмиссии ионов золота и серебра при воздействии луча лазера на мишень сложного элементного состава. В сб. Тезисы док. на XIX Всесоюзн. конференции по эмиссионной электронике, Ташкент, 1983.
7. Бедиллов М.Р., Хабибуллаев П.К., Холбаев А., Курамагов Д. С роли угла падения луча лазера на образование многозарядных ионов. Докл. АН УзССР, № 8, с.25-27, 1981.
8. Бедиллов М.Р., Быковский Ю.А., Хабибуллаев П.К., Сабитов М.С. Энергетические и угловые характеристики ионов водорода двух- и трехкомпонентной лазерной плазмы. Взаимодействие электромагнитных излучений с плазмой. Тезисы докл. IV Всесоюзн. конференции, Ташкент, 1985.
9. Абдупатаев Р., Бедиллов М.Р., Бейсембаева Х.Б. Масс-спектрометрические исследования взаимодействия лазерного излучения с окрашенными прозрачными диэлектриками. Препринт ИЯФ АН УзССР, Р-6-156, Ташкент, 1985.
10. Поляничев Л.Н., Фетисов В.С. Ионизация и рекомбинация в многозарядной плазме нагреваемой лазерным излучением. ПМТФ, §6, с.9-15, 1978.
11. Быковский Ю.А., Сильнов С.Т., Шарков Б.Д. и др. Лазерная плазма двухкомпонентных семей. - Физика плазмы, т.3, 5, с.1153-1156, 1977.

Рукопись поступила в ВИЖ 10.11.86

Отпечатано на ротационной машине ИЯФ АН УзССР
702132 п.Улутб.к, Куйбышевского р-на, г.Ташкента
Научно-информационный и издательский отдел
Института ядерной физики АН УзССР
Заказ № 3 Тираж 275 Уч.-изд.л. 0,4
Редактор Д.Г.Галютдинова
Подписано в печать 22.XII Р 18127
Цена 6 коп.