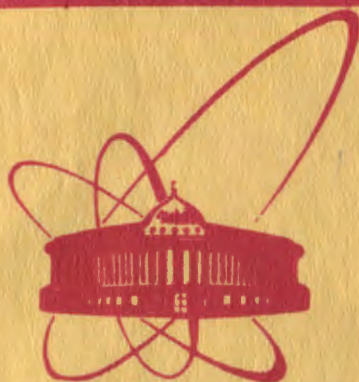


1192/82

9/II-82

e
+



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P7-81-744

Г.М.Арзуманян, Д.Д.Богданов, Ю.А.Быковский,
А.М.Родин, С.М.Сильнов,
Г.М.Тер-Акопьян

**ЛАЗЕРНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ
ДЛЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРА**

Направлено на 3-ю Всесоюзную конференцию
по масс-спектрометрии /Ленинград, декабрь 1981 г./

1981

Продолжение работ по поиску сверхтяжелых элементов /СТЭ/ в природе требует разработки и создания высокочувствительных методик, позволяющих непосредственно идентифицировать нуклид по A или Z . С целью проведения таких исследований в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ разрабатывается высокочувствительный масс-спектрометр "ЛИДИА"/1/ с лазерным источником ионов. Выбор лазерного источника ионов /ЛИИ/ представляется нам оправданным из-за малого расхода вещества, возможности проведения локального анализа, отсутствия селективности ионизации и свободы от ионных компонент, не связанных с материалом мишени. Важным преимуществом ЛИИ в экспериментах по поиску СТЭ в природе является также малый выход молекулярных соединений, которые могут служить причиной появления фоновых массовых линий в области с $A > 250$.

В настоящей работе описывается конструкция макетного ЛИИ, а также приведены экспериментальные результаты, характеризующие его работу.

Измерение характеристик ЛИИ проводилось на экспериментальной установке, блок-схема которой приведена на рис.1. Основными узлами установки являются: оптический квантовый генератор, лазерный источник ионов, масс-спектрометр, детектор ионов с выходом на запоминающий осциллограф.

В качестве источника лазерного излучения использовался твердотельный оптический квантовый генератор ЛТИ ПЧ-5, работающий в режиме электрооптической модуляции добротности. Длительность лазерного импульса 12 нс. Измеренная энергия на длине волны излучения $\lambda = 1,06$ мкм составляла $\approx 3 \cdot 10^{-2}$ Дж. Лазер позволял работать как в режиме одиночных посылок, так и на частотах 12,5; 25 и 50 Гц. Часть излучения лазера отводилась на фотоэлемент ФЭК-09, электрический сигнал с которого использовался для запуска развертки осциллографа. Основной же поток излучения фокусировался линзой на поверхность исследуемого образца, находящегося в ЛИИ. Фокусировка осуществлялась подвижной линзой с фокусным расстоянием $F = 75$ мм. Плотность мощности лазерного излучения достигала величины 2×10^9 Вт/см². На рис.2 приведена конструкция ЛИИ. Основной узел позволял фокусировать лазерное излучение на поверхности мишени без нарушения вакуума в системе. Сфокусированное излучение попадало на образец через боковое отверстие в экспандере. Угол падения составлял 45° к поверхности мишени. Во избежание запыления фокусирующей линзы

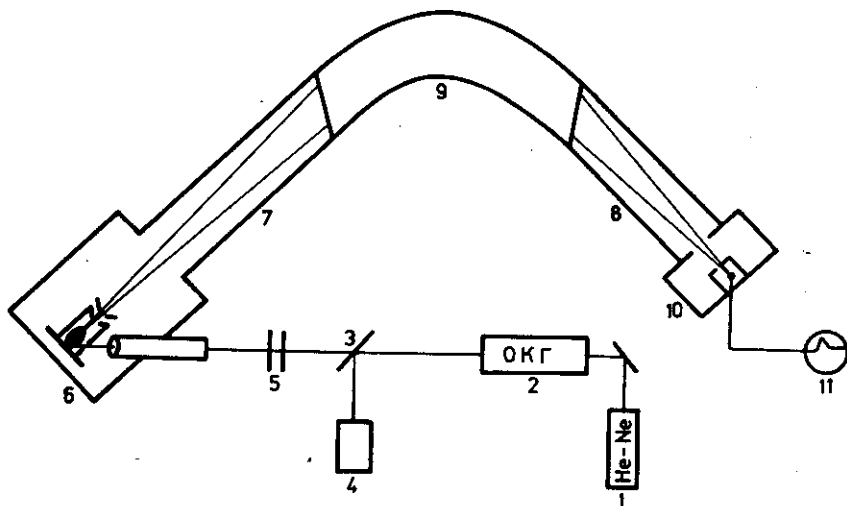


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 - настроечный гелий-неоновый лазер; 2 - оптический квантовый генератор; 3 - разделительная пластина; 4 - фотоэлемент ФЭК-09; 5 - нейтральные светофильтры; 6 - ЛИИ; 7,8 - входной и выходной патрубки магнита; 9 - секторный магнит; 10 - приемное устройство; 11 - запоминающий осциллограф.

боковое отверстие закрывалось сменной стеклянной пластиной. Мишень крепилась на дне неглубокой $h=3$ мм/ чашки, соединенной со сканирующим устройством. Сканирование производилось через горизонтальный и вертикальный штоки двумя электродвигателями. Площадь сканирования мишени составляла 20×30 мм². Чашка вплотную была прижата к передней крышке экспандера, а при включении сканирующего устройства двигалась по ее поверхности. Отсутствие зазора между чашкой и стенкой экспандера является необходимым условием для устранения токов утечки, приводящих к пробоям высокого напряжения.

Для формирования и ускорения ионного пучка применялась трех-электродная целевая оптика^{2/}. Первый электрод-экспандер был изготовлен в виде трубки диаметром 35 мм и длиной 100 мм. Размеры выходной щели составляли 3×10 мм². Далее были установлены второй и третий электроды с соосными щелями. Была предусмотрена возможность их перемещения относительно экспандера в пределах 50 мм. В настоящей работе все измерения проводились при заземленных втором и третьем электродах. Подвод высокого напряжения 40 кВ на экспандер осуществлялся через проходной керамический изолятор, расположенный на верхнем фланце камеры

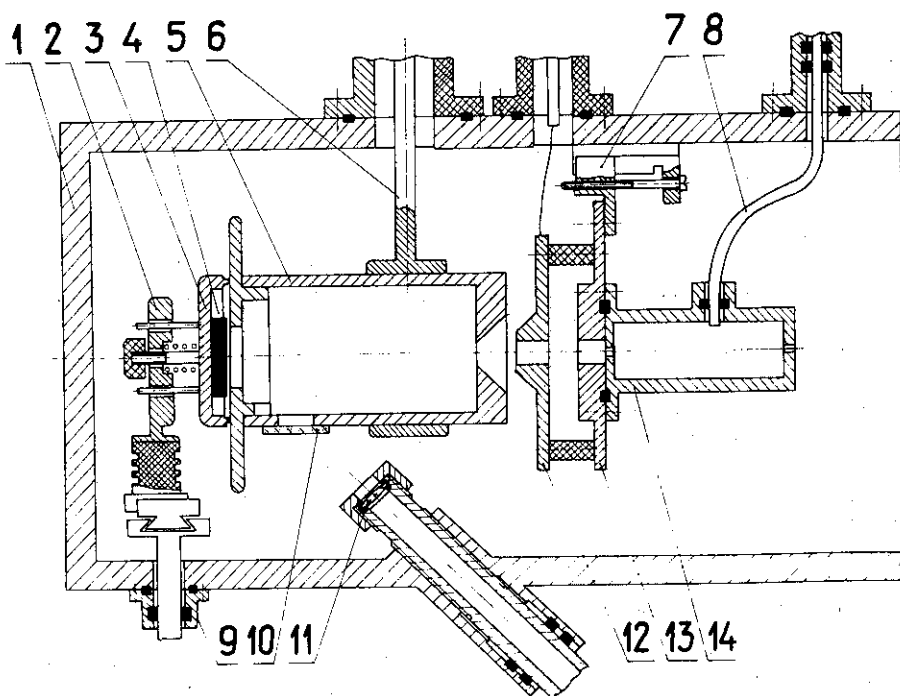


Рис. 2. Конструкция макетного ЛИИ: 1 - корпус источника; 2 - прижимное устройство; 3 - чашка; 4 - мишень; 5 - экспандер; 6 - высоковольтный ввод; 7 - мостик перемещения электродов; 8 - трубка подвода газа в перезарядное устройство; 9 - шток вертикального сканирования; 10 - стеклянная пластина; 11 - фокусирующая линза; 12 - второй электрод; 13 - третий электрод; 14 - перезарядное устройство.

источника. Лазерная плазма, образованная под действием мощного излучения на поверхность твердого тела³⁻⁵, расширялась в дрейфовой трубке экспандера и достигала узла формирования ионного пучка. В результате из квазинейтральной лазерной плазмы вытягивался, ускорялся и формировался ленточный ионный пучок.

Магнитный спектрометр был сконструирован на основе электромагнита СП-57А^{6/}. Угол поворота ионов в магнитном поле составлял 60° , межполюсный зазор 100 мм, углы захвата $+5^\circ$ по горизонтали и $+2^\circ$ по вертикали. Дисперсия спектрометра $18 \text{ мм}/\% \text{ Вр}$, разрешение $\Delta/\Delta\lambda \approx 600$.

Для измерения ионного тока до магнитного анализатора использовался монитор, представляющий собой медную пластину размерами 100×45 мм², расположенную на расстоянии 750 мм от третьего электрода. Сигнал ионного тока регистрировался через нагрузочное сопротивление 1 кОм осциллографом С8-11. Коэффициент вторичной эмиссии монитора при энергии ионного пучка 40 кВ составлял 30%.

Детектором ионного тока после магнитного анализатора служил электронный умножитель ВЭУ-2А, подключенный к усилителю с максимальным коэффициентом усиления 10^2 . Усиленный сигнал записывался на экране запоминающего осциллографа.

Откачка источника осуществлялась насосом НОРД-250, остальной объем масс-спектрометра откачивался насосом ВА-0,5. Предельный вакуум в системе - $4 \cdot 10^{-8}$ мм рт.ст., при работающем источнике вакуум колебался в пределах $9-12 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст. в зависимости от частоты следования лазерных посылок и материала мишени. Отсюда следует, что скорость газоотделения из работающего источника составляла величину 2×10^{-3} Торр л/с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе были исследованы такие материалы, как С, Al, Ni, Cu, Y, Mo, Ta, Pb, а также некоторые сложные вещества. Измерение характеристик ионного тока проводилось в двух режимах: в режиме свободного разлета лазерной плазмы и в режиме ускорения ионов. В случае свободного разлета на монитор подавалось напряжение смещения $U = -20$ В. Регистрируемое число ионов слабо зависело от материала мишени и в среднем составляло $\sim 10^{11}$ частиц за импульс при плотности мощности лазерного излучения 2×10^9 Вт/см². Предполагая, что разлет однозарядных ионов происходит изотропно^{7/}, получим общее число ионов, эмиттируемых плазмой $\sim 10^{14}$. В то же время полное число атомов, выброшенных с поверхности образца, $\sim 3 \times 10^{16}$ /по оценкам объема образовавшегося кратера/. Тем самым степень ионизации составляет $\sim 0,3\%$.

Были проведены исследования зарядового распределения в ионном пучке. Максимальная кратность ионизации, наблюдавшаяся в наших условиях, не превышала $Z=+6$. На рис.3 представлена зависимость количества вытянутых ионов от заряда для никеля при плотности мощности лазерного излучения 2×10^9 Вт/см². Аналогичное зарядовое распределение было характерно и для других исследованных мишеней, что является типичным для ионной компоненты лазерной плазмы при указанной плотности мощности излучения.

Использованная в настоящей работе экспериментальная методика позволяла также изучить энергетическое распределение

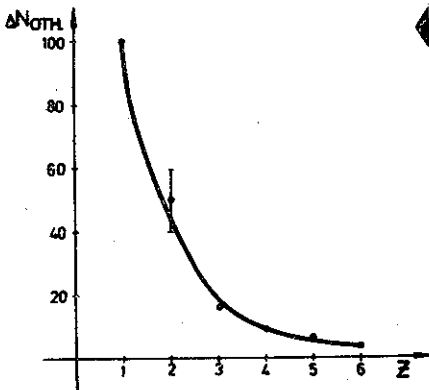
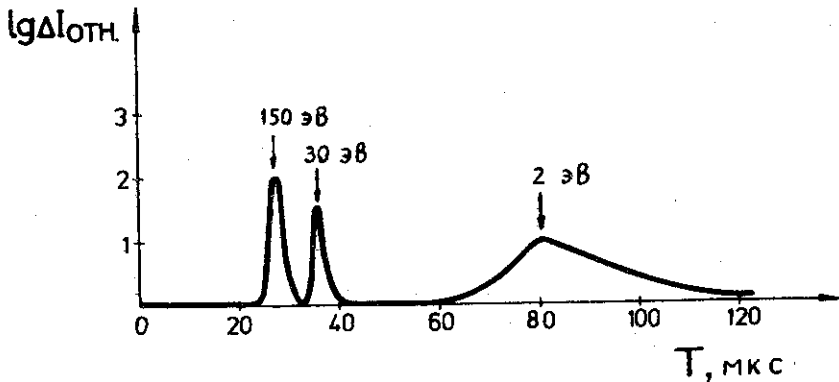


Рис. 3. Зарядовое распределение ионов.

Рис. 4. Временное распределение импульса тока однозарядных ионов тантала.



ионов различной зарядности. На рис. 4 приведено временное распределение импульса тока для однозарядных ионов тантала. Видно, что временное распределение характеризуется тремя максимумами с различным временем задержек относительно импульса лазера. Поскольку время пролета в масс-спектрометре одинаково для всех трех компонент, то различие во времени задержек связано с различным временем дрейфа в экспандере. Таким образом, зная массу иона и длину дрейфовой трубки, а также временное распределение, можно построить кривую энергетического распределения. Значения энергий, соответствующих максимумам компонент, приведены на рис. 4.

Интересным в этих экспериментах результатом было продвижение в область энергий меньше 10 эВ и обнаружение максимума в энергетическом распределении для этих ионов. Этот пик, видимо, имеет значение для понимания процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом и разлета плазмы, так как в этой об-

ласти энергетического распределения зарегистрированы и молекулярные ионы типа C_2^{+1} , C_3^{+1} , FeO^{+1} , TaO^{+1} , TaO_2^{+1} , CsJ_2^{+1} и др. Наличие в этой области энергетического спектра относительно большого количества /несколько процентов/ комплексных соединений позволяет предположить, что появление ионов со столь низкой энергией может быть обусловлено механизмом взаимодействия лазерной плазмы с поверхностью мишени, на которую падает излучение. Для детального определения природы малоэнергетического максимума, по-видимому, требуется проведение дополнительных экспериментов.

Сравнивая результаты, полученные нами, с данными работ /8-10/ по определению энергетических спектров в лазерной плазме, можно заключить, что данная методика чувствительней в области малых энергий. Это позволило обнаружить еще один максимум в энергетическом распределении и установить, что в основном он ответствен за появление в лазерной плазме комплексных соединений.

Этот результат представляется существенным при создании высокочувствительной установки "ЛИДИЯ" для поиска СТЭ в природе, так как простым обрезанием энергетического спектра со стороны малых энергий можно на несколько порядков уменьшить количество молекулярных соединений в ионном пучке. Действительно, в наших экспериментах мы не наблюдали молекулярных ионов с энергией порядка 100 эВ на уровне чувствительности 10^{-4} от полного тока.

Таким образом, проведенные на макете исследования подтверждают перспективность использования лазерного источника для высокочувствительного массового анализа. Для разработки рабочего варианта источника масс-спектрометра "ЛИДИЯ", на наш взгляд необходимо продолжение изучения характеристик лазерной плазмы и разработки систем извлечения и формирования ионного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Flerov G.N., Ter-Akopian G.M. Pure and Appl.Chem., 1981, vol.53, p.909.
2. Freeman J.H., Bell W.A. Nucl.Instr. and Meth., 1963, 22, p.317.
3. Басов Н.Г. и др. ЖЭТФ, 1966, 51, с.998.
4. Афанасьев Ю.В. и др. АММ, 1966, 30, с.1022.
5. Басов Н.Г. и др. ЖЭТФ, 1968, 54, с.1034.
6. Электрофизическая аппаратура промышленного изготовления. Справочник. Госатомиздат, М., 1963.
7. Быковский Ю.А. и др. ЖТФ, 1968, 38, с.1194.
8. Быковский Ю.А. и др. ЖТФ, 1969, 39, с.1694.

9. Быковский Ю.А. и др. ЖЭТФ, 1971, 60, с.1306.
10. Быковский Ю.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1972, 15, с.308.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 ноября 1981 года.

Вышел в свет очередной номер журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра", том 12, вып. 6. Подписка на журнал проводится в агентствах и отделениях "Союзпеч-ти", в отделениях связи, а также у общественных распространителей печати.