

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

Г19

P13-88-770

Ю.П.Гангрский, С.Г.Земляной, И.Н.Изосимов\*,  
Б.Н.Марков, Чан Конг Там

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
РЕЗОНАНСНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ АТОМОВ  
С ЛАЗЕРНОЙ АТОМИЗАЦИЕЙ ВЕЩЕСТВА

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

---

\* Радиевый институт им. В.Г.Хлопина,  
Ленинград

1988

Резонансная флуоресценция атомов в оптическом диапазоне широко используется для измерений изотопических сдвигов и сверхтонкого расщепления атомных уровней. Эти измерения позволяют определить с высокой точностью ряд важных характеристик атомного ядра - его зарядовый радиус, спин и электромагнитные моменты <sup>1,2/</sup>. Один из методов, получивший распространение в последнее время, основан на резонансном возбуждении атомных уровней световым излучением лазера и регистрации спонтанно испущенных фотонов. Составной частью экспериментальной установки, основанной на таком методе, является устройство для получения пучка свободных атомов исследуемого элемента. Для этого обычно применяется нагреваемый тигель, в который помещается испаряемое вещество. Недостаток такого устройства связан с ограниченным набором исследуемых веществ, характеризующихся сравнительно высоким давлением насыщенных паров при умеренных температурах тигля. Использование высоких температур, которые привели бы к росту этого давления или к разложению соединений исследуемых элементов не всегда доступно, т.к. оно вызывает усложнение установки и увеличение фона от свечения тигля.

Представляется перспективным использовать для атомизации исследуемого вещества в данной методике вместо нагревания тигля импульсное лазерное излучение. При воздействии на поверхность образца лазерного излучения с плотностью мощности выше пороговой ( $10^7 - 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> для различных веществ) образуется высокотемпературный плазменный сгусток, состоящий из нейтральных атомов, ионов и электронов <sup>3-5/</sup>. Таким способом можно эффективно испарять практически любые, даже самые тугоплавкие вещества, разлагать соединения и получать интенсивные пучки свободных атомов. В данной публикации приводится описание установки, основанной на таком способе атомизации вещества, и результаты экспериментов для оптимизации режима ее работы.

В описываемой установке для резонансного возбуждения атомных уровней (ее блок-схема приведена на рис.1) используется непрерывный лазер на красителе с перестраиваемой длиной волны. Регистрация фотонов, испущенных спонтанно возбужденными атомами, производилась фотоумножителем с низким уровнем шумов (ФЭУ-79), работающим в режиме счета одиночных фотонов. Описание этих частей установки и их параметры приведены в работах <sup>6,7/</sup>.

Получение атомного пучка осуществлялось с помощью импульсного лазера на иттрий-алюминиевом гранате (типа ЛТИПЧ-7). Характеристики

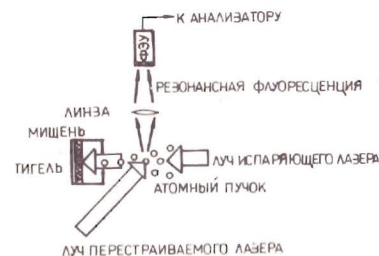


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки.

этого лазера: длина волны светового излучения 1,06 мкм, длительность импульса 10 нс, частота следования до 100 Гц, мощность в импульсе до 5 МВт. Облучаемая мишень находилась внутри танталовой трубки, которая служила для формирования атомного пучка и защиты ФЭУ от интенсивного свечения плазменного сгустка во время взаимодействия лазерного луча с веществом. Лазерное излучение фокусировалось на мишень с помощью линзы. Размер светового пятна можно было менять от 0,2 до 3 мм, варьируя таким образом в широких пределах плотность мощности лазерного излучения на мишени.

Атомный пучок пересекал под прямым углом световой луч от непрерывного лазера с перестраиваемой длиной волны. Резонансно рассеянное на этих атомах излучение с помощью системы из двух линз фокусировалось на фотокатод ФЭУ. Для снижения фонового светового излучения из облучаемой мишени между линзами помещался интерференционный фильтр с шириной пропускания 10 нм. Импульсы с ФЭУ через тракт быстрой электроники (усилитель, дискриминатор, схема пропускания) подавались на временной анализатор, работа которого была синхронизована со сканированием длины волны непрерывного лазера на красителе.

Мертвое время электронного тракта составляло ~100 нс. Это позволяло работать с высокими (более  $10^6$  1/с) интенсивностями импульсов с ФЭУ, которые имели место при прохождении сгустка исследуемых атомов через световой луч непрерывного лазера. Изменяя длительность стробирующего импульса, подаваемого на схему пропускания, и его задержку

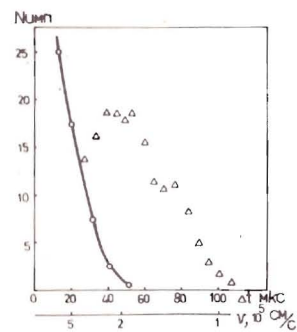
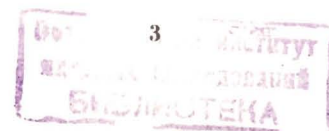


Рис.2. Зависимость числа импульсов с ФЭУ (на один импульс лазера ЛТИПЧ-7) от времени задержки стробирующего импульса ( $\Delta t$ ). Нижняя шкала абсцисс показывает скорость атомов при данной задержке.

△ - эффект  
○ - фон





относительно световой вспышки импульсного лазера, можно было выбирать такой режим работы анализатора, чтобы счет импульсов с ФЭУ производился только в тот интервал времени, когда пучок исследуемых атомов пересекал лазерный луч. Это позволяло существенно снизить фон от свечения плазменного сгустка, рассеянного лазерного излучения и шумов ФЭУ.

В типичных экспериментах измерялась зависимость числа резонансно-рассеянных фотонов от длины волны непрерывного лазера на красителе. Это число определяло интенсивность свободных атомов, испаряющихся из мишени. Эффективность установки была такова, что одному импульсу с ФЭУ соответствовало около  $10^8$  вылетевших из мишени атомов. Она включала потери атомов за счет коллимации, долю их в определенном квантовом состоянии и имеющих доплеровский сдвиг частоты, не выходящий за пределы лазерной линии, а также эффективность регистрации фотонов ФЭУ.

На рис.2 представлена зависимость от времени задержки стробирующего импульса выхода резонансно-рассеянного излучения (для изотопа  $^{150}\text{Gd}$ ), а также фонового светового излучения. Наблюдаемая зависимость соответствует известному распределению по скоростям нейтральных атомов в плазменном сгустке с максимумом при  $v \approx 3 \cdot 10^5 \text{ см/с}^{1/5}$ . Из этой зависимости был выбран оптимальный диапазон времени для схемы пропускания (30 - 100 мкс), который соответствовал наилучшему отношению эффекта к фону при достаточно высоком выходе резонансно-рассеянного излучения. В этом диапазоне времени и проводились все дальнейшие эксперименты по оптимизации работы установки - измерения зависимости выхода от различных параметров импульсного лазера (мощность в импульсе, диаметр светового пятна), времени облучения, состава мишени из анализируемого вещества.

В качестве мишеней использовался широкий набор металлов ( $Zr$ ,  $Ce$ ,  $Gd$ ,  $Th$ ,  $U$ ) и их соединений (окислов, различных солей). Последние использовались в виде прессованных таблеток.

На рис.3 представлена зависимость выхода резонансно-рассеянного излучения для мишени из металлического гадолиния от времени облучения при различных диаметрах светового пятна (0,5 и 2 мм, соответствующих плотностям мощности  $2 \cdot 10^9$  и  $10^8 \text{ Вт/см}^2$ ). Видно, что выход падает со временем значительно быстрее при меньшем диаметре светового пятна. Это связано, очевидно, с более быстрым образо-

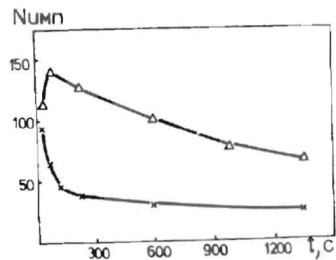
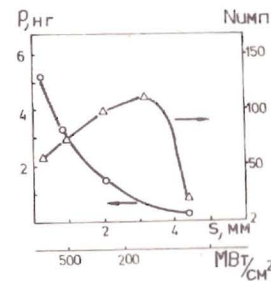


Рис.3. Зависимость числа импульсов с ФЭУ от времени после начала облучения при диаметре светового пятна 0,5 (x) и 2мм(Δ) и частоте импульсов лазера 25 Гц.



ванием кратера и ухудшением условий для образования плазменного сгустка.

Рис.4. Зависимость числа импульсов с ФЭУ (Δ) и веса испаренного вещества (○) от площади светового пятна на мишени. Нижняя шкала абсцисс показывает плотность мощности лазерного излучения при данной площади пятна.

На рис.4 приводится зависимость выхода резонансно-рассеянного излучения и веса испарившегося вещества (для той же мишени  $Gd$  и той же мощности лазерного излучения), усредненного за интервал времени 100 - 300 с, от площади светового пятна (или плотности мощности). Наблюдается рост выхода с увеличением площади пятна до  $3,5 \text{ мм}^2$ , а затем быстрый спад. По-видимому, при плотности мощности выше пороговой снижение ее компенсируется увеличением области взаимодействия лазерного излучения с веществом. В максимуме представленной зависимости выход составляет  $\sim 3 \cdot 10^{11}$  атомов на один импульс испаряющего лазера.

Сравнивая измеренное число резонансно-рассеянных фотонов с весом испарившегося вещества при одной и той же плотности мощности, можно оценить в нем долю свободных атомов в выбранном схемой пропускания диапазоне скоростей (только эти атомы испытывают резонансное рассеяние). При диаметре светового пятна 1,5 - 2,0 мм эта доля достигает 20 - 30% (остальная доля, по-видимому, приходится на ионы и вещество в конденсированной фазе).

Такие же зависимости и абсолютные значения массы испарившегося вещества и доли в них свободных атомов наблюдались и для остальных исследованных металлов. В то же время для их соединений характерна более разнообразная картина. Для окислов имеет место приблизительно тот же

выход свободных атомов при большем на порядок весе испарившегося вещества. В случае солей (хлоридов, нитратов, сульфатов) этих металлов выход свободных атомов, как правило, в сотни раз меньше. Возможно, что это связано с низкой поглощательной способностью лазерного излучения этими соединениями. Добавки мелкодисперсного порошка углерода или циркония в количестве 30 - 50% от веса образца существенно увеличивали выход свободных атомов до

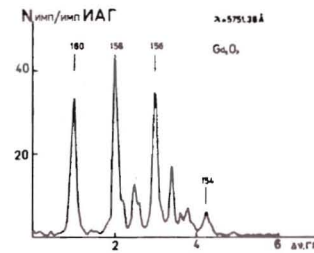


Рис.5. Спектр резонансно-рассеянного излучения.



значений, наблюдаемых для окислов. При этом большое значение имеет качество приготовленных образцов. Для плохо спрессованных таблеток расход вещества растёт, а выход свободных атомов падает. По-видимому, это объясняется вылетом из образца целых крупинок вещества при воздействии на него мощным лазерным импульсом.

На рис.5 представлен пример одного из измеренных спектров, полученный при облучении образца из  $Gd_2O_3$  при указанных выше оптимальных условиях (способ приготовления образца, время облучения, диаметр светового пятна). Наблюдаемые в спектре пики соответствуют резонансным частотам различных изотопов  $Gd$ . При этом вес испаренного вещества за время измерения (100 с) составлял всего около 30 мкг. В случае металлов расход вещества еще меньше. На этой установке был проведен ряд измерений изотопических сдвигов в оптических спектрах редкоземельных элементов и циркония<sup>8,9/</sup>.

Таким образом, описанная установка с лазерной атомизацией вещества может успешно применяться в исследованиях атомной резонансной флуоресценции широкого круга элементов и их соединений, включая самые тугоплавкие.

В заключение авторы выражают благодарность Г.Н.Флерову и Ю.Ц.Оганесяну за поддержку работы, Ч.Гречны и Г.В.Мышинскому за помощь в измерениях, Д.Д.Богданову за полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Jacquinet P., Klapisich R., Rep. Prog. Phys., 1979, v.42, p.773.
2. Otten E., Nucl. Phys. A, 1981, v.354, p.471.
3. Рэди Д. - "Действие мощного лазерного излучения на вещество", Мир, 1974
4. Вульфсон Б.К., Дворкин В.И., Карякин А.В., Завоцкая лаборатория, 1982, т.48, с.27.
5. Быковский Ю.А., Сильнов С.М., Сотниченко Е.А., Шестаков Б.А., ЖЭТФ, 1987, т.93, с.500.
6. Гангрский Ю.П., Маринова К.П., Марков Б.Н., Наджаков Е.Г., Оганесян Ю.Ц., Хан Ген И, Чан Конг Там, Изв. АН СССР, сер. физ., 1985, т.49, с.2261
7. Gangrsky Yu.P., Han Gyong I, Marinova K.P., Markov B.N., Nadjakov E.G., Tran Cong Tam, JINR E6-86-233, Dubna, 1986.
8. Гангрский Ю.П., Земляной С.Г., Кульджанов Б.К., Маринова К.П., Марков Б.Н., Хоанг Тхи Ким Хуэ, Чан Конг Там, Изв. АН СССР, сер. физ., 1988, т.52, с.48.
9. Гангрский Ю.П., Земляной С.Г., Кульджанов Б.К., Маринова К.П., Марков Б.Н., Хоанг Тхи Ким Хуэ, Чан Конг Там, ЖЭТФ, 1988, т.94, с.9.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 октября 1988 года.

Гангрский Ю.П. и др.

P13-88-770

Установка для исследования резонансной флуоресценции атомов с лазерной атомизацией вещества

Описывается установка для исследования лазерной резонансной флуоресценции в оптическом диапазоне спектра. Атомизация вещества осуществлялась путем его испарения с помощью мощного импульсного лазера. Для флуоресценции атомов использовался непрерывный лазер на красителе с перестраиваемой длиной волны. Рассматриваются работа установки и эксперименты по оптимизации ее параметров. Установка может использоваться для исследования широкого круга веществ и их соединений, включая самые тугоплавкие.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод авторов

Gangrsky Yu.P.  
Experimental  
of Atomic Res  
by the Laser

An experim  
the laser res  
spectra. Subs  
powerful puls  
atomic fluore  
ments aimed t  
The setup co  
and its comp

The inves  
tory of Nucl

Preprint

ating  
al  
ng a  
for  
-  
ed.  
atter  
pra-