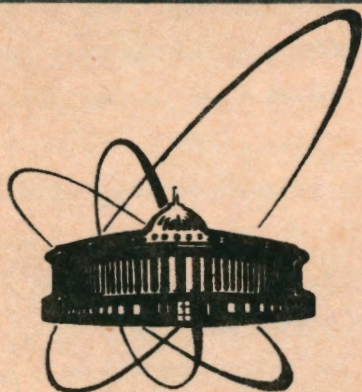


91-337



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P13-91-337

З.Блащак<sup>1</sup>, Ю.П.Гангрский, Ч.Градечны,  
Ким Сын Гем, О.Н.Компанец<sup>2</sup>, В.Д.Кузнецов,  
Б.Н.Марков, В.И.Мишин<sup>2</sup>, Г.В.Мышинский,  
И.Н.Нестерук<sup>2</sup>, А.А.Солнышкин, В.Н.Федосеев<sup>2</sup>,  
В.О.Сидорова

УСТАНОВКА  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ  
С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРА

<sup>1</sup> Университет им. А.Мицкевича, Г.Познань, РП

<sup>2</sup> Институт спектроскопии АН СССР, г.Троицк

С появлением лазеров с перестраиваемой длиной волны светового излучения методы оптической резонансной спектроскопии нашли широкое применение как в фундаментальных, так и в прикладных исследованиях. Эти методы позволяют, с одной стороны, проводить анализ ультрамалых примесей широкого круга элементов, а с другой стороны, с высокой точностью измерять целый ряд атомных и ядерных параметров. Среди этих параметров необходимо в первую очередь отметить зарядовые радиусы и электромагнитные моменты ядер, величины которых получают из измерений изотопических сдвигов и сверхтонкой структуры оптических линий. При использовании в этих измерениях лазеров непрерывного действия достигнута высокая частотное разрешение (до 1-3 МГц) и чувствительность, позволяющая работать с образцами, содержащими до  $10^6$ - $10^7$  исследуемых атомов /1,2/.

Однако в ряде случаев представляется перспективным использование импульсных лазеров. Хотя эти лазеры характеризуются более широкой линией генерации и, следовательно, имеют худшее частотное разрешение, они позволяют проводить измерения в атомных пучках с большим доплеровским уширением. Кроме того, измерения могут быть синхронизованы с импульсами светового излучения, и это приводит к значительному снижению фона от посторонних источников.

В данной работе описывается установка для измерений оптических спектров атомов со стабильными и радиоактивными ядрами, созданная на основе модернизированных отечественных импульсных лазеров на красителях типа ЛЖИ-504 /3/.

На рис.1 представлена функциональная схема лазерного спектрометра. Источник накачки - импульсный лазер "Криостат-1" - одновременно вырабатывает излучения двух длин волн 510,8 нм (60%) и 578,2 нм (40%), длительность импульсов 20 нс, частота 11 кГц, средняя мощность 3,5 Вт. Длина волны лазера на красителе перестраивается в диапазоне 530-710 нм, а максимальная область непрерывного сканиро-

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

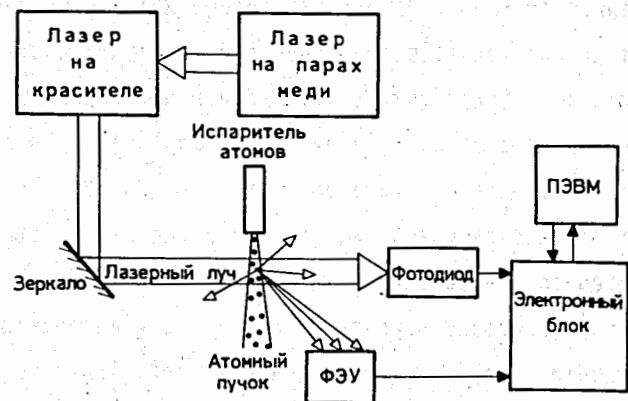


Рис.1. Функциональная схема лазерного спектрометра.

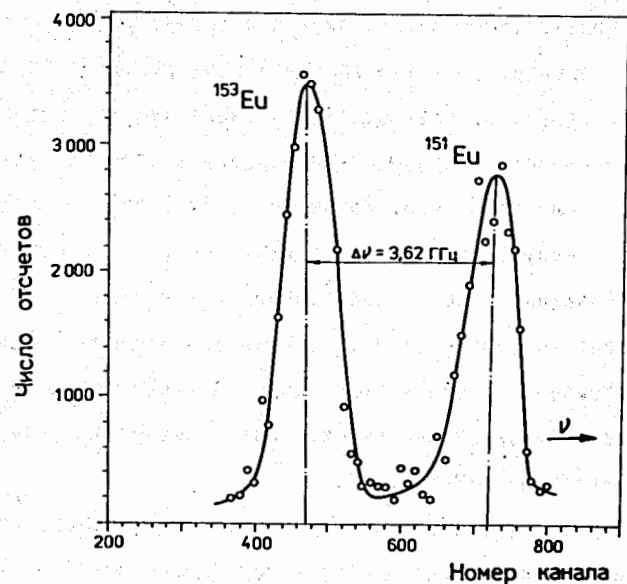


Рис.2. Оптический спектр естественной смеси Eu при длине волны лазера  $\lambda = 576,5$  нм.

вания  $2 \text{ см}^{-1}$  (60 ГГц). Дисперсионным элементом является дифракционная решетка, которая производит селекцию длин волн и сужение линии генерации красителя /4/. Для получения линии генерации с шириной  $0,03 \text{ см}^{-1}$  (1,1 ГГц) в резонатор вводится интерферометр Фабри-Перо, вращение которого синхронизировано с вращением дифракционной решетки. Коэффициент преобразования интенсивности излучения красителей различен и, как правило, составляет не более 10% и только для красителя R6G в максимуме достигает значения 20%. Длительность импульса генерации лазера на красителе не более 20 нс.

Метод измерения оптических спектров основан на резонансной флуоресценции исследуемых атомов под действием лазерного излучения. Измеряется зависимость интенсивности рассеянного лазерного излучения от его длины волны. Взаимодействие лазерного излучения с атомным пучком происходит в вакуумной камере, откачиваемой до давления  $10^{-5}$  мм рт.ст. Лазерный луч диаметром 2 мм вводится в камеру через окна из оптического стекла, расположенные по отношению к лучу под углом Брюстера. Источник атомного пучка расположен в 10 см от лазерного луча. Он отделен от остального объема камеры шибером и откачивается отдельным насосом. Это позволяет быстро менять образцы в испарителе (тигле) без нарушения вакуума.

Свободные атомы образуются при нагревании танталового тигля. Разогрев тигля осуществляется либо световым излучением, исходящим от разогретой переменным током вольфрамовой спирали (в этом случае температура тигля достигает  $1300^\circ\text{C}$ ), либо электронной бомбардировкой, возникающей при подаче отрицательного напряжения 400-600 В на нагретую вольфрамовую спираль (тигель заземлен). Максимальная температура при этом  $2100^\circ\text{C}$ .

Тигель представляет собой цилиндрическую ампулу диаметром  $D=5$  мм и длиной  $L=30$  мм с тонким капилляром  $d=1$  мм и  $l=15$  мм.

Выбор капилляра в качестве формирователя атомного пучка обусловлен тем, что при свободном течении атомного пучка при  $k > 0,3d$ , где  $k$  — длина свободного пробега, пучок формируется только за счет столкновений атомов со стенкой капилляра. Поэтому чем длиннее капилляр, тем уже диаграмма направленности и большее число атомов достигнет области взаимодействия с лазерным излучением. Это было подтверждено специальными измерениями углового распределения атомов меди, испаренных из тигля. Оказалось, что 90% атомов испускается в телесный угол 0,6 стерadiana, что на порядок лучше, чем при изотропном распределении.

После взаимодействия с лазерным излучением фотоны резонансной флуоресценции, возникающие при переходе атомов из возбужденного состояния в основное (за время порядка  $10^{-6}$ – $10^{-8}$  с), фокусируются системой светосбора на фотокатод ФЭУ-100. Атомный пучок, лазерное излучение и ось ФЭУ ортогональны друг другу.

Система светосбора состоит из сферического и эллипсоидального зеркал. Радиус сферы — 37 мм, межфокусное расстояние эллипсоида — 52 мм. Центр сферы, один из фокусов эллипсоида и область взаимодействия совмещены. Свет собирается во втором фокусе эллипсоида, где и расположен фотокатод ФЭУ. Конструкция обеспечивает 60% собирания фотонов. ФЭУ-100 имеет квантовую эффективность в области красителя R6G (560–590 нм) 5–7% и работает в режиме счета отдельных фотонов. Длительность импульса, снимаемого с анода ФЭУ, ~ 10 нс.

Резонансная флуоресценция регистрируется с задержкой  $> 20$  нс после прохождения лазерного импульса. Задержка необходима для того, чтобы исключить регистрацию фотонов во время лазерной вспышки и регистрировать только фотоны, связанные с атомными переходами. Продолжительность регистрации задается длительностью

разрешающего импульса и определяется временем жизни возбужденного атомного уровня. Обычно она составляет 0,1–1,0 мкс. Это позволяет существенно (в десятки раз) снизить уровень фона от светового излучения нагретого тигля. Диаметр чувствительной зоны ФЭУ 9 мм. Перед окном ФЭУ располагался фильтр, выполненный из цветного стекла марки ОС-12 с границей 530 нм и обрезающий коротковолновую часть спектра.

Поскольку длина волны лазерного излучения изменяется непрерывно, набор спектра (зависимость интенсивности флуоресценции исследуемых атомов от длины волны лазерного излучения) происходит в мультискелерном режиме счета фотонов. Управление экспериментом и накопление данных осуществляется на базе персональной ЭВМ "Правец-16".

Настройка лазера на красителе на нужную длину волны осуществлялась грубо с помощью спектрометра ФДС и лампы с полим катодом из исследуемого элемента. Для точной настройки использовался оптогальванический эффект в лампе (рост тока разряда при резонансе). Для настройки установки и оптимизации режима ее работы проводились измерения оптических спектров нейтральных атомов европия на длине волны 576 нм. Использовались образцы из металлического Eu и его оксида  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  весом до 30 мг ( $10^{11}$  атомов). Образцы из оксидов изготавливались путем нанесения капли раствора известной концентрации на тонкую танталовую фольгу и последующего прокаливания ее.

Один из примеров измеренных спектров Eu представлен на рис.2. В спектре наблюдаются пики, соответствующие изотопам  $^{151}\text{Eu}$  и  $^{153}\text{Eu}$  (их содержание в естественной смеси соответственно 48% и 52%). Из известного изотопического сдвига  $\text{Eu I}$  на линии 576 нм — 3,62 ГГц /5/ определена ширина лазерной линии



(ее доплеровское уширение не превышает 50 МГц) - 1,1 ГГц, которая характеризует частотное разрешение установки. Хотя это разрешение значительно хуже, чем для непрерывных лазеров, оно вполне достаточно для разделения линий от разных изотопов и компонент сверхтонкой структуры широкого круга элементов (лантаниды, актиниды, тяжелые щелочные и щелочноземельные).

Чувствительность установки (минимальный регистрируемый поток атомов, выходящих из тигля) определяется рядом факторов:

1. Долей атомов, достигающих области взаимодействия с лазерным лучом (составляет  $5 \cdot 10^{-4}$ ).

2. Долей атомов, пролетающих эту область в момент лазерного импульса ( $4 \cdot 10^{-2}$ ).

3. Эффективностью регистрации резонансно рассеянных фотонов ( $3 \cdot 10^{-2}$ ).

4. Долей атомов, находящихся в том квантовом состоянии, из которого происходит возбуждение (это зависит от системы атомных уровней, для  $Eu$  составляет 0,3).

5. Уровнем фона (зависит от температуры тигля, при  $T < 1400^\circ C$  не превышает 1 имп/с).

Такие параметры установки позволяют проводить измерения с достаточно слабыми потоками атомов (например, в случае  $Eu$  с интенсивностью атомного пучка до  $10^7$  1/с). Эта минимальная интенсивность может быть снижена в десятки раз для элементов, испаряющихся при более низких температурах и позволяющих располагать тигель на меньших расстояниях от области взаимодействия с лазерным лучом. Все это указывает на перспективность использования описанной установки для решения широкого круга задач: анализ содержания изотопов в

образцах, измерение оптических спектров атомов с радиоактивными ядрами, образующихся в реакциях с низкими выходами, и др.

В заключение авторы выражают благодарность проф. Ю.Ц.Оганесяну и проф. В.С.Летохову за поддержку работы, доктору физ.-мат. наук В.А.Карнаухову и Л.А.Петрову за консультации и предоставление измерительной аппаратуры.

#### Литература

1. Otten E.W. - In: Nuclear far from stability. Plenum Press, New York, 1987, v.8, p.1.
2. Алхазов Г.Д., Барзах А.Е., Буянов Н.Б. и др. - Международная школа-семинар по физике тяжелых ионов, Дубна, 1983, с.308.
3. Мишин В.И., Мнускин В.Е., Никифоров В.Г. и др., ПТЭ, 1983, № 2, с.246.
4. Нестерук И.Н., Компанец О.Н., Мишин В.И., Квант.электр., 1988, т.15, с.455.
5. Fedoseyev V.N., Letokhov V.S., Mishin V.I. e.a., Opt. Comm., 1984, v.52, p.24.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 июля 1991 года.