

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ И ФИЛЬТРАЦИИ ПО МАССАМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТС НЕЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ

*Н.В.Карлов, Б.Б.Крынецкий, В.А.Мишин,
А.М.Прохоров*

Приведены экспериментальные результаты по применению метода двухступенчатой фотоионизации и фильтрации по массам для регистрации СТС нечетных изотопов Dy и Er в образцах с природным содержанием изотопов.

Лазерная спектроскопия высокого разрешения представляет новые возможности в изучении сверхтонкой структуры (СТС) спектров атомов [1]. Однако, в случае элементов сложного изотопического состава и высокого процентного содержания нечетных изотопов в природной смеси расшифровка спектров поглощения или люминесценции представляет собой трудную задачу. Для примера на рис. 1, а приведена запись структуры линии люминесценции хорошо коллимированного пучка атомов диспрозия. Запись осуществлена при частотном сканировании излучения перестраиваемого лазера на красителе высокой монохроматичности ($1,3 \cdot 10^{-3}$ см⁻¹), возбуждающего люминесценцию. Видно, что этот спектр не позволяет провести однозначную идентификацию.

Известно, однако, что при радиационном двухступенчатом воздействии на атомы и молекулы хорошо сохраняется селективность собст-

венно лазерного воздействия [2, 3]. На примере селективной двух-ступенчатой фотоионизации это было недавно экспериментально показано применительно к атомам тяжелых металлов [4 – 7]. Из этих опытов следует, в частности, что сочетание избирательности масс-спектрометра, измеряющего ток фотоионизации, с селективностью двухступенчатого лазерного воздействия значительно расширяет возможности лазерной спектроскопии высокого разрешения.

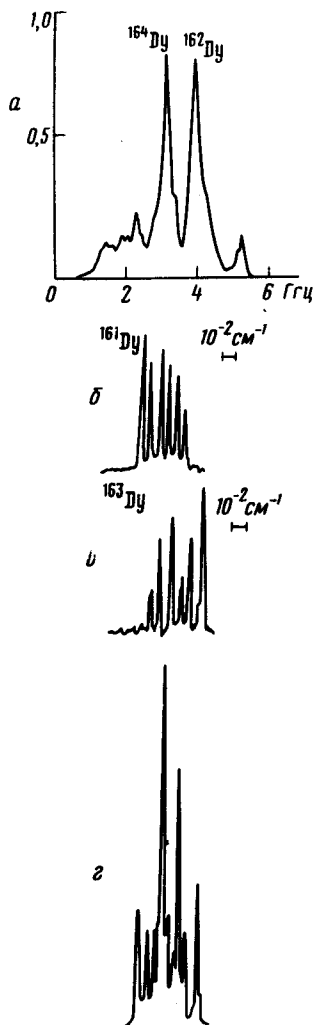


Рис. 1. Изотопическая структура Dy ($\lambda = 5988,56 \text{ \AA}$): а – спектр люминесценции, б – спектр фототока ^{161}Dy , в – спектр фототока ^{163}Dy , г – суммарный масс-спектр Dy

В нашей работе показана применимость этих новых возможностей для исследования СТС атомов отдельных изотопов редкоземельных элементов Dy и Er с природным содержанием изотопов.

Эксперимент выполнен на атомных пучках, получаемых испарением соответствующего металла в вакууме. Давление остаточных газов – 10^{-7} мм рт.ст. Для испарения применен молибденовый тигель. Пучок формировался системой диафрагм и молибденовой коллиматорной трубкой. На вылете из коллиматора атомы возбуждались излучением сканируемого узкополосного лазера на красителе ($h\nu_1$) и одновременно подвергались ионизирующему излучению ($h\nu_2$). При этом выполнялись условия $h\nu_1 + h\nu_2 > I$; $h\nu_1, h\nu_2 < I$, где I – потенциал ионизации

атома. Полученные при такой двухступенчатой фотоионизации ионы исследуемого элемента системой ионных линз направлялись на выносной датчик динамического масс-спектрометра. В лазере на красителе применен родамин-6G. Мощность 40 мвт, диапазон перестройки $6100 \pm 5700 \text{ \AA}$. Накачка осуществлялась излучением аргонового лазера непрерывного действия мощностью 4 вт. Масс-спектрометр настраивался на определенную массу и играл, таким образом, роль перестраиваемого избирательного масс-фильтра. Тогда при сканировании частоты излучения возбуждающего лазера регистрируется ионный ток, соответствующий спектру возбуждения только одного выбранного заранее изотопа из числа содержащихся в атомном пучке. Заметим, что в реальных условиях легко обеспечивается разрешение в 1 ат. ед. массы.

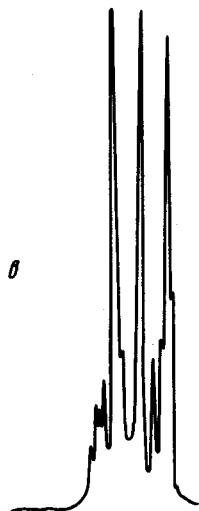
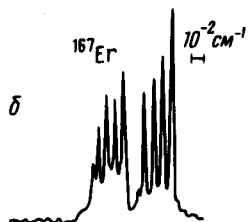
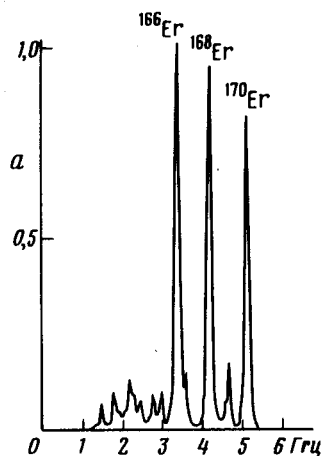


Рис. 2. Изотопическая структура Er ($\lambda = 5828,78 \text{ \AA}$): а — спектр люминесценции, б — спектр фототока ^{167}Er , в — суммарный масс-спектр

Спектральное разрешение метода определяется шириной линии генерации лазера на красителе, в нашем случае — $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$, регистрирующая способность — чувствительностью масс-спектрометра и мощностью ионизирующего излучения (вдали от режима насыщения по ионизации). В наших экспериментах чувствительность составляла 200 ион/сек. Применение техники "счета ионов" позволяет улучшить чувствительность в 100 раз и проводить исследования предельно малых весовых количеств анализируемого элемента.

На рис. 1 приведены примеры записи спектров отдельных изотопов диспрозия. Суммарная картина спектров отдельных изотопов точно воспроизводит спектр люминесценции природной смеси изотопов диспрозия (рис. 1,а). Аналогичные результаты получены для изотопов эрбия (рис. 2).

Таким образом, сочетание селективности двухступенчатой лазерной фотоионизации с фильтрацией по массам ионов позволяет легко, точно, с высокой чувствительностью и разрешающей способностью регистрировать СТС спектров отдельных изотопов в их природной смеси.

Знание СТС атома в той или иной электронной конфигурации позволяет вычислить постоянные магнитного взаимодействия A и квадрупольного взаимодействия B , определяющие сверхтонкое расщепление, находить результирующие электрические и магнитные моменты электронной оболочки, если известны ядерный магнитный и квадрупольный моменты и т. д. [8].

Применение метода двухступенчатой фотоионизации в сочетании с фильтрацией по массам для исследования характеристик атомных ядер может быть особенно эффективным в случае редких изотопов, а также нестабильных элементов, получение весовых количеств которых представляет заметные трудности.

Авторы благодарны проф. А.Р.Стриганову за крайне полезные для них обсуждения результатов работы.

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

Поступила в редакцию
25 февраля 1977 г.

Литература

- [1] J.H.Broadhurst, M.E.Coge, D.L.Clark, G.W.Greenless, J.A.R.Griffith, C.R.Isaak. J.Phys. B, 7, L513, 1974.
- [2] Н.В.Карлов, Ю.Б.Конев, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 14, 178, 1971.
- [3] Р.В.Амбарцумян, В.П.Калинин, В.С.Летохов. Письма в ЖЭТФ, 14, 305, 1971.
- [4] S.A.Tuccio, J.W.Durbin, O.G.Peterson, B.B.Snavely. VIII Int. Quantum Electronics Conf. Post. dead line. Q14, 1974.
- [5] Н.В.Карлов, Б.Б.Крынецкий, В.А.Мишин, А.М.Прохоров, А.Д.Савельев, В.В.Смирнов. Письма в ЖЭТФ, 2, 961, 1976.
- [6] Н.В.Карлов, Б.Б.Крынецкий, В.А.Мишин, А.М.Прохоров, А.Д.Савельев, В.В.Смирнов. Квантовая электроника, 3, 2486, 1976.
- [7] S. A. Tuccio. Отчет Лоуренсовской Ливерморской Лаборатории, ERDA США UCRL-50021-74, p. 494, 1974.

- [8] Г.Копферман. Ядерные моменты, М., ИИЛ, 1960; И.И.Собельман.
Введение в теорию атомных спектров, М., ГИЗ, Физматлит, 1963.
-