

В.И. Семенов, Т.Г. Сорокина, Г.М. Сорокин

## Исследование спектров испущенных электронов атомов ксенона

*Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары*

Поступила в редакцию 15.11.2005 г.

В процессе лазерной генерации на атомах ксенона в области ультрафиолетовых длин волн важную роль играют автоионизационные состояния. Методом электронной спектроскопии исследовался процесс возбуждения и распада автоионизационных состояний атома ксенона при энергии бомбардирующих электронов от 20 до 50 эВ. Электроны, испущенные в результате распада автоионизационных состояний на угол  $90^\circ$  по отношению к бомбардирующему электронному пучку, анализировались по энергиям 127-градусным электростатическим селектором с разрешением 0,07 эВ. В интервале энергий испущенных электронов 3–14 эВ зарегистрировано 7 линий. Получены новые данные о положении автоионизационных линий атома ксенона.

### Введение

Поиск спектральной области лазерного излучения всегда являлся актуальной задачей. В этом отношении оптическую спектроскопию дополняют новые направления, например электронная спектроскопия рассеянных электронов, которая широко представлена в работах [1–3], а также электронная спектроскопия испущенных электронов, выполненная на атомах металлов [4–6]. Эксперименты на атомах инертных газов проведены при энергии бомбардирующих электронов более 1 кэВ, где Оже-спектры получены начиная с 10 эВ и выше [7, 8]. Однако в этих исследованиях область малых энергий возбуждающего пучка и испущенных электронов не рассмотрена. Цель данной работы заключалась в измерении спектров электронов, испущенных при столкновении электронов с атомами ксенона при энергии бомбардирующих электронов менее 50 эВ и области испущенных электронов менее 14 эВ, которая не была исследована методом ВУФ-спектроскопии.

### Техника эксперимента

Экспериментальная установка состоит из вакуумной камеры, спектрометра электронов и системы счета и накопления отдельных электронов (рис. 1).

Вакуумная камера изготовлена из нержавеющей стали типа 1X18H9T и откачивается двумя паромасляными насосами с суммарной скоростью откачки 3000 л/с. Это позволило с помощью азотных ловушек обеспечить остаточное давление в камере столкновений  $\leq 10^{-7}$  торр. Пучок атомов ксенона создавался металлическим многоканальным формирова- телем (число каналов 100, диаметр 10 мкм, длина 1,0 мм).

Спектрометр состоит из двух 127-градусных электронных селекторов. Основные элементы спектрометра изготовлены из полированной стали и нихрома.

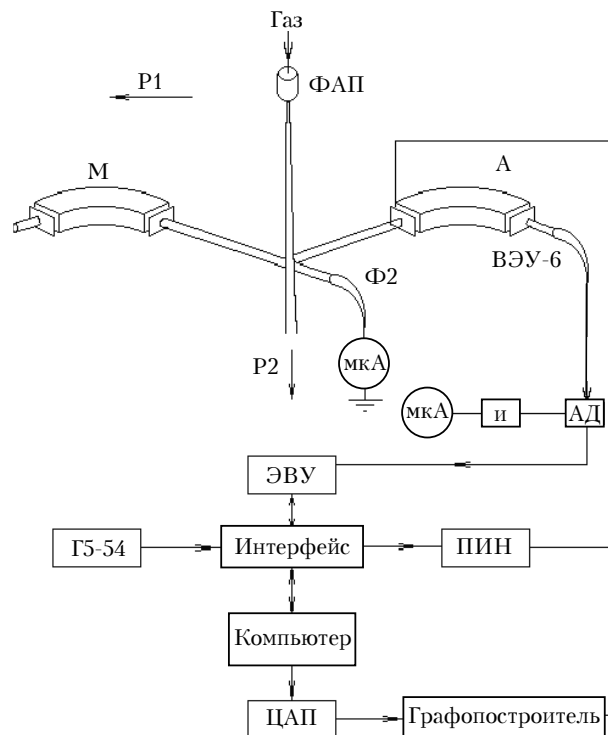


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Два 127-градусных селектора системы фокусирующих линз образуют монохроматор (М) и анализатор (А), которые расположены под углом  $90^\circ$  друг к другу. Разброс медленных электронов на выходе монохроматора равен  $\approx 0,07$  эВ. Минимальная энергия электронов, пропускаемых анализатором А, равна 0,1 эВ с угловым разрешением  $2,9^\circ$ .

Рассеянные электроны, проанализированные 127-градусным селектором, детектировались каналным электронным умножителем типа ВЭУ-6 и усиливались предварительным усилителем (ПУ) до амплитудного дискриминатора (АД). Верхние и нижние

уровни дискриминации выбирались так, чтобы обеспечить наилучшее отношение сигнала к шуму. С выхода дискриминатора обработанные импульсы поступали в электронно-вычислительное устройство (ЭВУ). Работа ЭВУ осуществлялась импульсным генератором типа Г5-54.

Конечный результат счета сигнала поступал в модуль счетчика ЭВУ и через интерфейс в оперативную память персонального компьютера. Вычислительная машина суммировала данные от нескольких проходов и сглаживала пронормированный спектр методом статистической обработки. Окончательный спектр пересылался на хранение в память компьютера и на экран монитора, а также выводился в виде графика через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) на графопостроитель. Развертка электронного спектра и энергетической зависимости осуществлялась программируемым источником напряжения (ПИИ) с минимальным шагом 0,01 эВ. Управляющие программы эксперимента на линии с компьютером и программы обработки данных построены по модульному принципу на языке С++ с ассемблерными вставками подпрограмм.

Методика проведения эксперимента по измерению электронных спектров состояла из следующих этапов: получение высокого вакуума от баллона с газом до камеры столкновений; термический обжиг электронного спектрометра; активировка оксидных катодов; настройка М и А, напуск исследуемого газа; настройка системы регистрации с получением спектра потерь от нормальных атомов (время записи 2 ч); настройка системы накопления с управлением от компьютера и проведение измерений энергетических спектров испущенных электронов.

Для проверки работоспособности экспериментальной установки были проведены измерения:

– спектров энергетических потерь электронов на атомах Не при энергиях столкновений  $10 \div 50$  эВ;

– энергетических зависимостей дифференциальных сечений рассеяния электронов на атомах Не от порогового значения до границы ионизации;

– дифференциального сечения упругого рассеяния (ДСУР) электронов на атомах Не с калибровкой энергетической шкалы по резонансу при энергии 19,35 эВ (рис. 2).

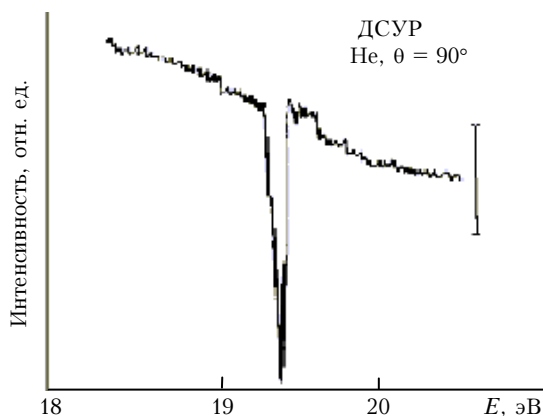


Рис. 2. Резонанс  $(1s2s^2)s$  в гелии для угла рассеяния, равного  $90^\circ$

Надежная повторяемость результатов измерений в Не и согласие полученных данных с другими исследованиями позволили заключить, что созданная установка соответствует основным требованиям эксперимента и дает возможность получать достоверную информацию.

## Результаты и их обсуждение

Типичный спектр энергетических потерь электронов на атоме Хе приведен на рис. 3, на котором выделены упругий пик и группа дискретных линий.

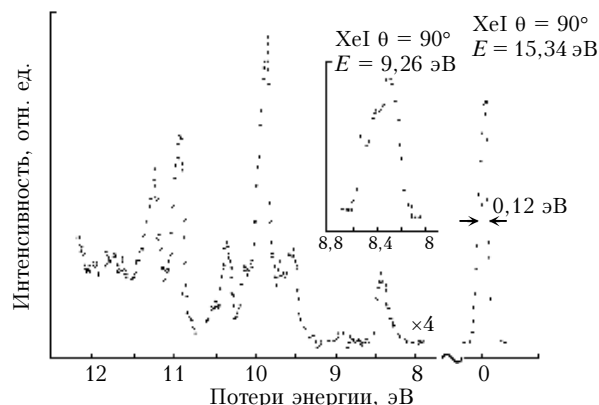


Рис. 3. Спектр энергетических потерь атомов Хе I

Положение этих линий связано с возбуждением низколежащих уровней атомов ксенона до ионизационного потенциала. Разрешение уровней с  $n = 6$  отчетливое, а последующие максимумы объединяются в целые группы уровней.

На рис. 4 приведены участки спектра потерь от 28 до 14 эВ и спектр испущенных электронов от 13 до 3 эВ, в которых содержатся интенсивные линии.

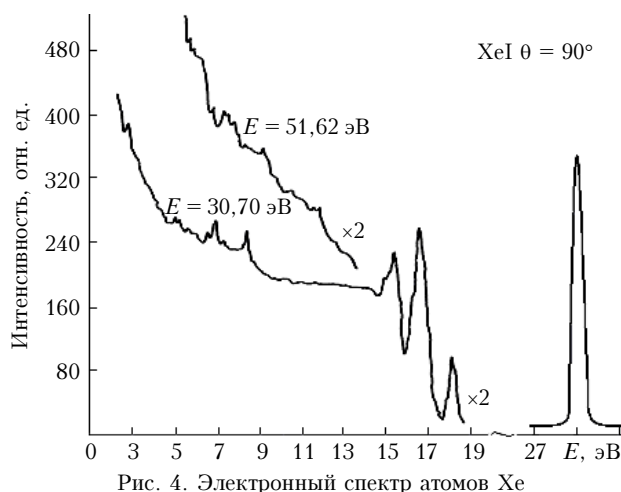


Рис. 4. Электронный спектр атомов Хе

Спектры измерены при разных энергиях медленных электронов ( $E = 30,70; 51,62$  эВ). Укажем на обнаруженные закономерности. С уменьшением энергии бомбардирующего пучка на спектр испущенных электронов начинает накладываться спектр неупруго рассеянных электронов, что проявляется в спектрах при других энергиях бомбардирующего

электронного пучка. Линии в спектре потерь имеют значительную ширину, которая определяется энергетическим разрешением монохроматора. Линии в спектрах испущенных электронов узкие, их ширина определяется разрешением анализатора. Некоторые выделенные линии могут быть отнесены к долгоживущим автоионизационным состояниям.

Область автоионизационных линий при энергии 10 эВ была проанализирована с работами [7, 8], в которых приведены Оже-спектры при возбуждении ксенона электронами при энергии несколько килоэлектронвольт. Сравнение положений выделенных линий показывает, что удается идентифицировать только одну линию, которая находится в районе 10 эВ, так как область исследований испущенных электронов в этих работах начинается с 8 эВ. Нам удалось измерить спектры испущенных электронов ниже 8 эВ. Следует сказать, что выделенные линии ответственны за распад автоионизационных состояний  $N$ -подоболочек.

1. *Schulz G.J.* Resonances in electron impact on atoms. // *Rev. Mod. Phys.* 1973. V. 45. N 3. P. 378–422.

2. *Мессу Г.* Отрицательные ионы. М.: Мир, 1979. 754 с.
3. *Славик В.Н., Перов А.А., Куприянов С.Е.* Метастабильные автоионизационные состояния атомов и ионов // Метастабильные состояния атомов и молекул и методы их исследования. Чебоксары: Чуваш. ун-т, 1980. С. 3–42.
4. *Казаков С.М., Коротков А.И., Шпенник О.Б.* Резонансное рассеяние электроном малых энергий на атомах ртути // *Ж. эксперим. и теор. физ.* 1980. Т. 78. Вып. 8. С. 1687–1695.
5. *Алексахин И.С., Боровик А.А., Вакула В.В., Вольдман М.Л.* Электронные спектры автоионизационных состояний YbI и YbII, возбуждаемые электронным ударом // *Ж. теор. физ.* 1980. Т. 50. Вып. 1. С. 218–220.
6. *Rosenberg R.A., Lee S.T., Shirley D.A.* Observation of a collective excitation in the ejected – electron spectra of Yb and Ba // *Phys. Rev. A.* 1980. V. 21. N 1. P. 132–139.
7. *Werme L.O., Bergmark T., Siegbahn K.* The high resolution auger spectra from xenon // *Phys. Scripta.* 1972. V. 6. P. 141–150.
8. *Озурицов Г.Н., Миушкин В.М., Флакс И.П.* Многочастичные эффекты в спектрах оже-электронов // IX ВКЭАС. Рига, 1984. С. 110–133.

*V.I. Semenov, T.G. Sorokina, G.M. Sorokin.* Study of spectra of electrons emitted by xenon atoms.

In the process of UV laser generation on xenon atoms, an important role is played by autoionization states. The process of excitation and decay of xenon atom autoionization states at energies of bombarding electrons from 20 to 50 eV was studied by the electron spectroscopy method. Energies of electrons emitted as a result of autoionization states at an angle of 90° with respect to the bombarding electron beam, were analyzed by 127-degree electrostatic selector with resolution of 0.07 eV. Within energy range 3–14 eV of the emitted electrons 7 lines were recorded. New data on xenon atom autoionization lines have been obtained.