

УДК 539.18

А.А. Митюрева, Г.А. Пономаренко, И.А. Шевкунов

Санкт-Петербургский государственный университет,
198504, Санкт-Петербург, ул. Ульяновская, д. 3, Россия
e-mail: guennadi@mail.ru

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН СИГНАЛОВ ТРЕХФОТОННОЙ ИОНИЗАЦИИ И ИОНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫМ УДАРОМ АТОМОВ Хе

Проведено измерение отношения величин трехфотонной ионизации и ионизации электронным ударом атомов Хе. Исследуемый процесс трехфотонной ионизации проходил через промежуточный двухфотонный резонанс. Эксперимент проводился на установке с газодинамическим пучком газовой смеси Хе/Не и скрещенными с ним лазерным и электронным пучками.

Ключевые слова: ионизация, электронный удар, лазерный пучок, трехфотонная ионизация, электронный пучок.

Введение

Ионизация электронным ударом и фотоионизация являются одними из основных процессов при изучении взаимодействия атомарных и молекулярных пучков со светом и заряженными частицами. Сопоставление этих двух реакций является весьма интересным для специалистов, занимающихся данной проблематикой. Такое сопоставление, кроме прочего, позволяет калибровать один из процессов по другому. К примеру, в работе [1] известные сечения фотоионизации атомов тяжелых инертных газов использовались для нахождения сечений их возбуждения электронным ударом. Особый интерес в последнее время уделяется процессам многофотонной ионизации [2, 3], которая изучена гораздо меньше, чем однофотонная [4]. В проведенном исследовании изучалось соотношение величин сигналов процессов фото- и электронной ионизации в ксеноне с целью дальнейшего определения сечения трехфотонной ионизации атомов ксенона по известному из литературы сечению ионизации его электронным ударом.

Постановка эксперимента

Процесс ионизации атомов Хе в результате электронного удара и трехфотонной ионизации изучался при взаимодействии газодинамической струи Хе/Не газовой смеси (при объемном соотношении 1/11) с пучком электронов и лазерным излучением. Создаваемая на входе установки сверхзвуковая газодинамическая струя (частота открытия сопла 10 Гц, длительность 0,8 мс) проходила коллимирующее отверстие \varnothing 1 мм и поступала в зону взаимодействия. На расстоянии приблизительно 40 см от коллимирующего отверстия в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и перпендикулярно газодинамической струе осуществлялось поочередное по времени взаимодействие с пучком электронов и сфокусированным лазерным излучением. Далее образовавшиеся в процессе фотоионизации и ионизации электронным ударом ионы Хе⁺¹ регистрировалось масс-спектрометром фирмы "Stefan Kaesdorf" с использованием TOF-методики. При обработке результатов использовался сигнал от изотопа ¹³⁶Xe.

Фотоионизация атомов ксенона осуществлялась с помощью нано-

секундного лазерного імпульса. Исследовался трехфотонный процесс ионизации через промежуточный уровень в два этапа: 1-ый – двухфотонное возбуждение из основного состояния атома Хе на уровень $6p'[1/2]_0$ (энергия возбуждения $89860,015 \text{ см}^{-1}$; $2h\nu = 11.14 \text{ эВ}$) и 2-ой – последующая однофотонная ионизация с данного уровня в континуум. Общая энергия ионизации в трехфотонном процессе составляет $3h\nu = 16.7 \text{ эВ}$; потенциал ионизации ХеI 12.1 эВ . Данный процесс схематически представлен на рис. 1.

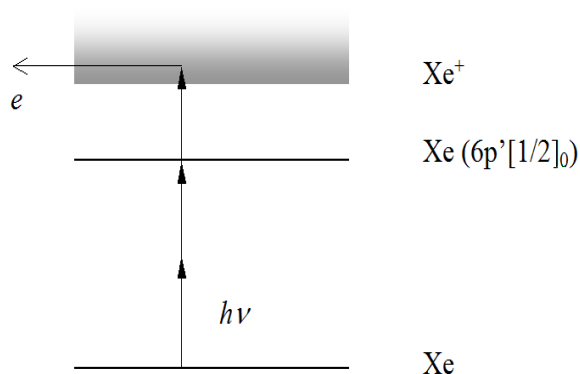


Рис. 1. Схема процесса трехфотонной ионизации через промежуточный двухфотонный резонанс.

Использование промежуточного двухфотонного резонанса позволило снизить требования по мощности лазерного импульса для реализации нелинейного процесса. Излучение на длине волны $\sim 223 \text{ нм}$ осуществлялось путем преобразования первичного лазерного излучения с длиной волны $\sim 800 \text{ нм}$. Лазерный пучок, проходя диафрагму и линзу с $f = 190 \text{ мм}$, фокусировался на оси газодинамической струи. Энергия лазерного пучка перед диафрагмой составляла величину 95 мкДж и измерялась с помощью фотодиода. Энергия лазерного пучка за диафрагмой оценивалась из соотношения площади сечения пучка и площади отверстия диафрагмы (диаметр пучка составлял $12\text{-}15 \text{ мм}$, диаметр отверстия диафрагмы порядка 2 мм). Оцениваемая энергия лазерного пучка за диафрагмой составляла величину порядка $2\text{-}3 \text{ мкДж}$. Длительность

лазерного импульса составляла величину порядка 6 нс . Частота импульсов была равна 10 Гц . Время регистрации составляло 50 с (500 импульсов).

Ионизация электронным ударом осуществлялась при той же частоте (10 Гц), с той же задержкой относительно стробирующего импульса и том же времени регистрации (50 с), что и для фотопроцесса, и производилась напрямую из основного состояния атома Хе при энергии пучка электронов 17 эВ . Величина тока через электронную пушку при этом составляла 20 мкА , длительность импульса 200 нс , диаметр выходного отверстия пушки 7 мм . Помимо этого была прописана функция ионизации при других значениях энергии электронов пучка в диапазоне $10\text{-}70 \text{ эВ}$.

Обработка и анализ полученных результатов

В результате проведенного исследования было установлено, что величина сигнала трехфотонной ионизации атома Хе через уровень $6p'[1/2]_0$ при данных параметрах установки имеет достаточно большое значение для целей дальнейшей его обработки по сравнению с уровнем разброса собственного сигнала и уровнем сигнала ионизации электронным ударом. Сигнал от процесса фотоионизации составил величину порядка 140 ± 20 отн. ед. Сигнал от процесса ионизации электронным ударом составил величину порядка 10 ± 5 отн. ед. Величины сигналов фотоионизации и ионизации электронным ударом (при описанных выше условиях) имеют соотношение $14:1$.

На основе проведенных измерений возможно определение сечения трехфотонной ионизации атома ксенона по известным из литературы данным о сечении ионизации электронным ударом (например, [1, 5]). Соответствующий пересчет возможен на основе учета известного геометрического фактора – отношения размеров областей фото- и электронной ионизации, а также потоков фотонов и электронов в пучках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Sorokin, L. A. Shmaenok, S. V. Bobashev, B. Mobus, M. Richter and G. Ulm. Measurements of electron-impact ionization cross sections of argon, krypton, and xenon by comparison with photoionization. Phys. Rev. A, 2000, v. 61, 022723
2. 2. Н. Б. Делоне, М. В. Федоров. Многофотонная ионизация атомов: новые эффекты. УФН, 1989, т. 158, № 2, с. 215-253
3. В. С. Попов. Туннельная и многофотонная ионизация атомов и ионов в сильном лазерном поле (теория Келдыша). УФН, 2004, т. 174, № 9, с. 921-951
4. J. A. R. Samson, W. C. Stolte. Precision measurements of the total photoionization cross-sections of He, Ne, Ar, Kr, and Xe. Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. 123 (2002) 265–276
5. R. Rejoub, B. G. Lindsay and R. F. Stebbings. Determination of the absolute partial and total cross sections for electron-impact ionization of the rare gases. Phys. Rev. A, 2002, v. 65, 042713

Стаття надійшла до редакції 28.05.2011

A. A. Mityureva, G. A. Ponomarenko, I. A. Shevkunov

Saint Petersburg state university, Ulianovskaya Str., 3, 198504, Saint Petersburg, Russia
e-mail: guennadi@mail.ru

COMPARISON OF SIGNAL'S MAGNITUDES OF THREE-PHOTON IONIZATION AND IONIZATION BY ELECTRONIC IMPACT OF Xe ATOMS

The measurement of magnitudes ratio between three-photon ionization and ionization by electronic impact of Xe atoms is lead. The studied three-photon ionization process passed through an intermediate two-photon resonance. Experiment was made on the installation with supersonic beam of Xe/He gas mixture and crossed laser and electronic beams.

Key words: ionization, laser beams, electronic beams, three-photon ionization, electronic impact.

А.А. Мітюрева, Г.А. Пономаренко, І.А. Шевкунов

Санкт-Петербурзький державний університет, 198504, Санкт-Петербург, вул. Ульяновська, д. 3, Росія

ПОРІВНЯННЯ ВЕЛИЧИН СИГНАЛІВ ТРЬОХФОТОННОЇ ІОНІЗАЦІЇ ТА ІОНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОННИМ УДАРОМ АТОМІВ Хе

Проведено вимірювання відношення величин трьохфотонної іонізації до іонізації електронним ударом атомів Хе. Досліджуваний процес трьохфотонної іонізації відбувався через проміжний двофотонний резонанс. Експеримент проводився на установці з газодинамічними пучком газової суміші Хе / Не та в схрещених з ним лазерним і електронним пучками.

Ключові слова: іонізація, електронний удар, лазерний пучок, трьохфотонна іонізація, електронний пучок.