

СЕЧЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА АТОМАХ КАЛЬЦИЯ, СТРОНЦИЯ И БАРИЯ

Н.И.Романюк, О.Б.Шпеник, И.П.Запесочный

Впервые определены полные сечения рассеяния электронов на атомах кальция, стронция и бария в области энергий $0,1 + 10$ эВ с помощью разработанного модифицированного метода электронной ловушки и модуляции атомного пучка.

Экспериментальные данные по полным эффективным сечениям рассеяния электронов на атомах щелочноземельных элементов до настоящего времени отсутствовали, за исключением магния и бария, для которых группа Траймара [1, 2] определила интегральные сечения упругого и неупругого рассеяния при нескольких энергиях в области $10 - 40$ эВ. В то же время имеется настоятельная необходимость в экспериментальных данных по эффективным сечениям рассеяния как с целью проверки различных теоретических моделей, особенно в области низких энергий (ниже 10 эВ), так и для целого ряда практических нужд, поскольку эти элементы нашли в последнее время применение в качестве активных сред ОКГ и в искусственных плазменных образованиях в верхних слоях атмосферы. В связи с этим нами разработана методика определения полных сечений рассеяния электронов на атомах, позволившая провести исследования, начиная с энергий $0,1$ эВ. В данном сообщении приводятся первые результаты исследований полных сечений рассеяния электронов на атомах Ca, Sr и Ba с использованием электронных пучков высокой энергетической однородности.

Эксперименты проводились в пересекающихся моноэнергетическом электронном и модулированном атомном пучках с применением синхронного накопления сигнала. Для детектирования рассеянных электронов применен видоизмененный метод электронной ловушки, в котором коллектором рассеянных электронов служит камера столкновений, а вся

электронно-оптическая система помещена в продольное магнитное поле, необходимое для селекции электронов по скоростям в трохoidalном электронном монохроматоре и коллимации электронного пучка. На входе в камеру столкновений и выхода из нее установлены электроды, потенциалы которых близки к потенциалу катода. Это создает ловушку для электронов, потерявших часть своей энергии на возбуждение или изменивших направление движения при столкновении с атомом. Рассеянные электроны осциллируют между этими электродами вдоль магнитного поля до тех пор, пока не осядут на камеру столкновений. Таким образом, измерение полного сечения рассеяния сводится не к определению ослабления первичного пучка электронов, прошедшего сквозь слой мишени, как это делается в традиционных экспериментах [3], а к детектированию полного тока рассеянных электронов. Последнее является существенным преимуществом предложенной методики, так как чувствительность измерений при этом повышается примерно на два порядка. Для устранения оседания первичного пучка электронов на стенки камеры столкновений были приняты специальные меры: юстировка отверстий в электродах и, кроме того, диаметры отверстий в электродах увеличивались на пути движения электронов от 0,2 мм на выходе из монохроматора электронов до 0,8 мм в электроде на выходе из камеры столкновений.

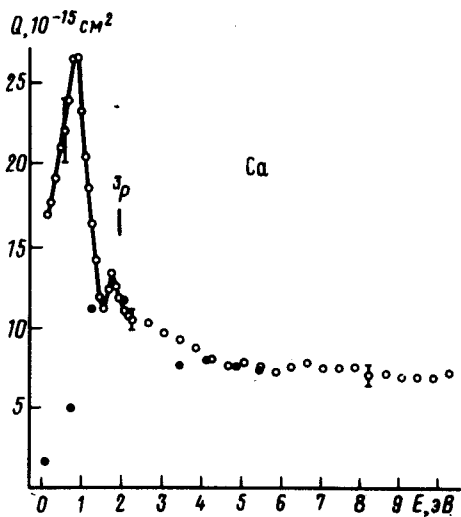


Рис. 1

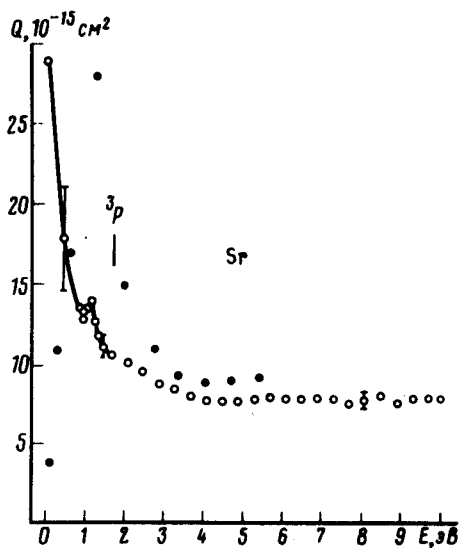


Рис. 2

Рис. 1. Эффективные сечения рассеяния электронов на атомах кальция: о — эксперимент, ● — данные расчетов [5]

Рис. 2. Эффективные сечения рассеяния электронов на атомах стронция: ○ — эксперимент, ● — данные расчетов [5].

Пучок атомов с углом расходимости 12° формировался эффузионным источником и модулировался механическим прерывателем с частотой 20 Гц. Весь прибор помещался в прогреваемую вакуумную камеру, откачиваемую двумя электроразрядными насосами НОРД-100. Ре-

гистрация тока рассеянных электронов осуществлялась на частоте модуляции атомного пучка. Система регистрации включает предварительный усилитель, фильтр нижних частот, избирательный усилитель, преобразователь напряжение — частота, цифровой синхронный детектор и реверсивный счетчик. Развертка ускоряющего напряжения осуществлялась от генератора ступенчатого напряжения, работающего по заданной программе. Все измеряемые величины (ток первичного пучка, ускоряющее напряжение, сигнал рассеяния) регистрировались цифровыми приборами В2-20, В2-23, Ф5007 и выводились на цифropечатающее устройство. Осуществлялось многократное (12 — 20 раз) сканирование как всего изучаемого энергетического интервала (0 — 10 эВ) с шагом $0,1 \pm 0,4$ эВ, так и отдельных участков с шагом $0,02 \pm 0,04$ эВ с целью более детального изучения особенностей кривых рассеяния.

Абсолютные величины сечений рассеяния определялись путем калибровки системы регистрации по ионному току измеренному в процессе ионизации атомов электронным ударом, сечения которых известны из работы [4]. Ошибка в определении сечений рассеяния составляет 38% для Са, 32% для Sr и 35% для Ва, в которой учтена погрешность определения сечений ионизации. Эта величина не включает погрешность, связанную с угловым разрешением прибора, которое составляло 15° при 1 эВ и 1° при 10 эВ.

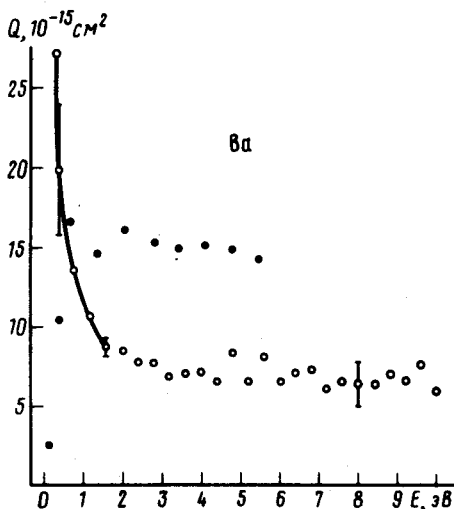


Рис. 3. Эффективные сечения рассеяния электронов на атомах бария: о — эксперимент, ● — данные расчетов [5]

С помощью описанной методики нами впервые проведены исследования полных сечений рассеяния электронов на атомах Са, Sr и Ва в интервале энергий от 0,1 до 10 эВ при полной ширине энергетического разброса электронов $0,04 \pm 0,08$ эВ на полувысоте максимума распределения. Определены также абсолютные сечения рассеяния и детально изучены особенности сечений рассеяния. Результаты измерений

представлены на рис. 1 – 3. На этих же рисунках (черные кружки) приведены данные расчетов Фабриканта [5] в приближении связи $^1S - ^1P - ^3P$ состояний для Ca и $^1S - ^1P - ^1D$ состояний для Sr и Ba. Как видно из представленных результатов, наиболее резкое расхождение между результатами расчетов и экспериментальными данными наблюдается в области энергий ниже первого возбужденного состояния атома.

Энергетические зависимости полных сечений рассеяния для всех атомов характеризуются крутым спадом сечения при увеличении энергии электронов от 0,1 до 10 эВ. Так, у Ca сечение в максимуме при $0,7 \pm 0,1$ эВ равно $26,5 \cdot 10^{-15}$ см² и уменьшается до $7,4 \cdot 10^{-15}$ см² при 10 эВ. Максимум при 0,7 эВ вызван, по-видимому, образованием и распадом короткоживущего состояния отрицательного иона $(4s^2 4p)^2PCa^-$.

Положение второго максимума при 1,7 эВ близко к энергии $1,62$ эВ $(d^1 s^2)^2D$ состояния отрицательного иона кальция, определенной методом горизонтальной экстраполяции [5].

Сечение рассеяния электронов на атомах стронция резко уменьшается от $28,9 \cdot 10^{-15}$ см² при 0,1 эВ до $7,7 \cdot 10^{-15}$ см² при 4 эВ и далее остается постоянным в пределах точности определения сечения. Максимум сечения при $1,2 \pm 0,1$ эВ объяснить пороговыми эффектами не представляется возможным, так как он лежит на 0,6 эВ ниже первого возбужденного 5P -состояния атома стронция. Так же, как и в случае атома Ca, его можно связать с проявлением $(d^1 s^2)^2D$ состояния отрицательного иона стронция.

Энергетическая зависимость полного сечения рассеяния электронов на атомах бария характеризуется наиболее резким спадом от $41,1 \cdot 10^{-15}$ см² при 0,2 эВ до $6,9 \cdot 10^{-15}$ см² при 3,2 эВ и остается далее практически постоянной в пределах точности измерений. Тщательные исследования в области низших 3D -, 1D - и 3P -состояний атома бария не обнаружили каких-либо особенностей в эффективном сечении, выходящих за пределы статистического разброса измерений.

Ужгородский государственный университет

Поступила в редакцию
19 августа 1980 г.

Литература

- [1] W. Williams, S. Trajmar. J. Phys. B. Atom. Mol. Phys., 11, 2021, 1978.
- [2] S. Jensen, D. Register, S. Trajmar. J. Phys. B: Atom. Mol. Phys., 11, 2367, 1978.
- [3] B. Bederson, L. J. Kieffer. Revs. Mod. Phys., 43, 601, 1971.
- [4] Л.А. Вайнштейн, В.И. Очкур, В.И. Раховский, А.М. Степанов. ЖЭТФ, 61, 511, 1971.
- [5] И.И. Фабрикант. Столкновения медленных электронов с атомами щелочноземельных атомов. Сб. "Атомные процессы", под ред. Р.К. Петеркопа, Рига, "Зинатне", 1975 г., стр. 80.
- [6] Г. Месси. Отрицательные ионы. М., изд. Мир, 1979.