

*Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 455 – 458*

*20 ноября 1970 г.*

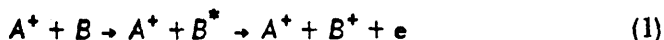
**ОБ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РОЛИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ИОНИЗАЦИИ  
ПРИ МЕДЛЕННЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ ИОНОВ  $K^+$   
С АТОМАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ**

*В.В.Афросимов, Ю.С.Гордеев, В.М.Лаверов*

*С.Г.Щемелинин*

Одним из способов изучения различных процессов ионизации при столкновениях атомных частиц является анализ энергетических спектров электронов, освобождающихся в результате таких столкновений. Исследования показали (см.,

например, [1]), что спектры электронов могут содержать две составляющие. Одна из них характеризуется непрерывным распределением по энергии и включает, главным образом, медленные электроны ( $\leq 1 \text{ эв}$ ), другая — представляет собой группы электронов с дискретными энергиями порядка  $10 \text{ эв}$ . Происхождение групп быстрых электронов может быть объяснено возбуждением автоионизационных состояний атома-мишени при столкновении и последующим распадом этих состояний:



Появление же медленных электронов связано с рядом процессов: прямой ионизацией



ионизацией с возбуждением



многократной ионизацией

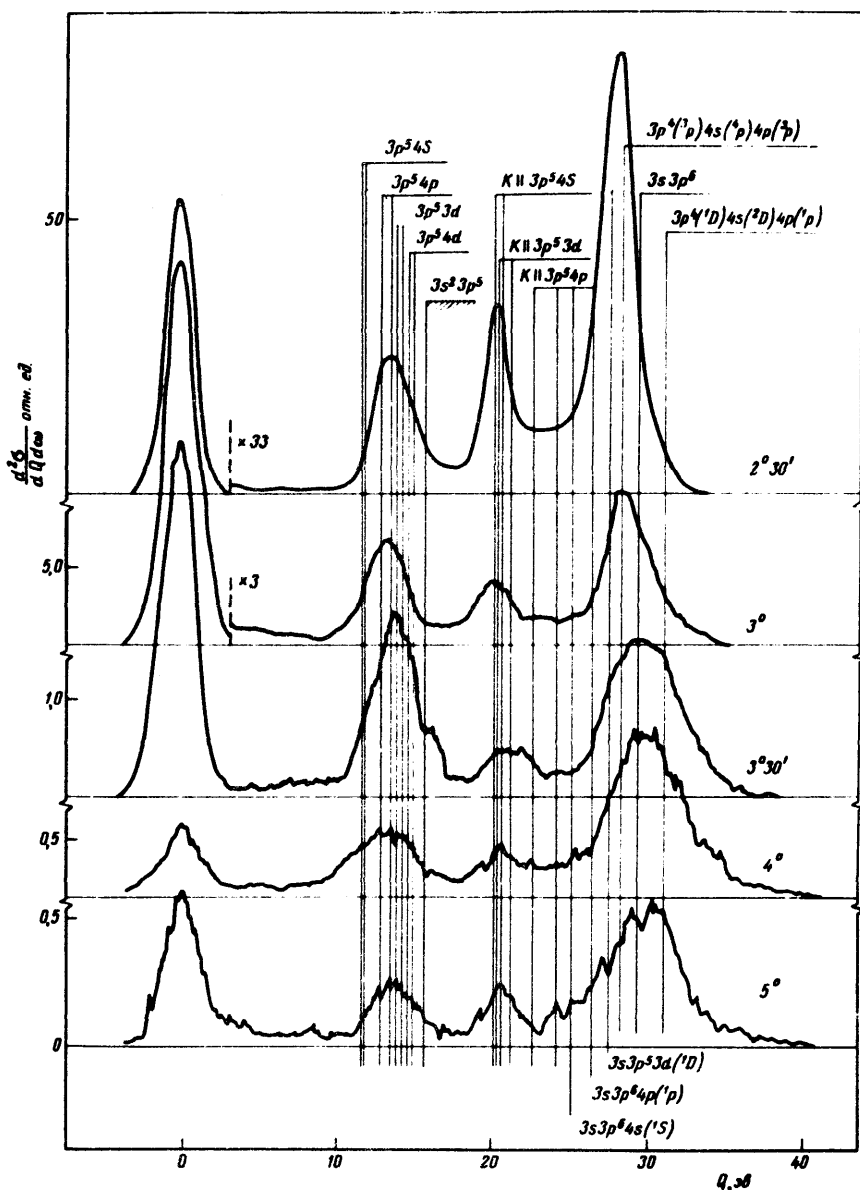


Однако выяснение относительной роли даже этих двух групп процессов ионизации — (1) и (2) — (4) — на основе энергетических спектров электронов наталкивается на серьезные трудности. Эти трудности связаны с определением интенсивности составляющих спектра электронов, что приводит к необходимости изучать угловое распределение и достаточно точно определять выход медленных электронов.

В настоящей работе для определения вклада различных процессов в сечение ионизации при ионно-атомных столкновениях использован анализ кинетической энергии налетающих ионов после их столкновения с атомами газа-мишени. Исследования проводились на экспериментальной установке, которая отличается от установки [2], использованной нами при изучении электронно-атомных столкновений, тем, что электронная пушка была заменена системой из термоионного источника и магнитного масс-спектрометра с секторным полем. Экспериментально определялись зависимости дифференциальных сечений рассеяния ионов на фиксированные углы от величины неупругой потери энергии (спектры неупругих потерь) и зависимости дифференциальных сечений от угла рассеяния при фиксированных неупругих потерях. Исследованы столкновения ионов  $K^+$  с атомами Ne, Ag и Xe в области неупругих потерь от 0 до  $50 \text{ эв}$  и углов рассеяния в лабораторной системе координат от  $1$  до  $10^\circ$ . Интервал начальных энергий ионов  $K^+$  —  $(1 + 3) \text{ кэв}$ .

Типичные спектры потерь энергии для случая  $K^+$  — Ag представлены на рисунке; видно, что они имеют дискретную структуру. Первый пик соответствует упругому рассеянию, второй — возбуждению  $3p$ -электрона и однократной ионизации атома Ag (процесс (2)), третий — возбуждению  $3p$ -электронов иона  $K^+$ , четвертый — возбуждению автоионизационных состояний атома Ag, связанных с возбуждением одного  $3s$  — или двух  $3p$ -электронов (процесс (1)) и ионизации с возбуждением (процесс (3)). Идентификация спектров производилась по данным энергетических уровней налетающего иона и атома мишени [3, 4]. Из автоионизационных уровней атома на рисунке указаны лишь те, которые наблюдались по спектрам электронов при ионно-атомных столкновениях [4].

Очевидно, что пороговая энергия процесса прямой ионизации (2) определяется потенциалом ионизации атома Ar. Поэтому для каждого угла рассеяния вклад прямой ионизации может быть оценен по площади той части второго пика, которая расположена правее линии  $3s^2 3p^5$ . (При выделении этой части пика нужно,



Спектры неупругих потерь энергии ионов  $K^+$ , рассеянных на различные фиксированные углы на атомах Ar. Начальная энергия ионов — 2,0 кэВ. Вертикальными линиями указано положение энергетических уровней изолированных Ar I и K II

разумеется, учитывать влияние аппаратной функции установки на контуры линий возбуждения атома Ar, образующих главную часть второго пика). Поскольку выход флуоресценции при распаде автоионизационных состояний Ar мал [5]

вклад процессов автоионизации и ионизации с возбуждением можно найти непосредственно по общей площади четвертого пика. Наконец, вклад двукратной ионизации можно оценить по форме спектра потерь в области  $Q \gtrsim 42 \text{ эв}$ , примыкающей к порогу для этого процесса (на рисунке не приведена).

Анализ спектров потерь показал, что с ростом угла рассеяния сечение любого из неупругих переходов мало вплоть до некоторого порогового значения (для каждого перехода своего). По достижении этих значений сечения резко возрастают и в области больших углов испытывают более или менее ярко выраженные осцилляции. Существование пороговых углов рассеяния позволило проинтегрировать по углу дифференциальные сечения, отвечающие ионизационным процессам, и получить данные об относительном вкладе этих процессов в полное сечение ионизации.

Найдено, что вклад прямой ионизации (2) для случая  $K^+ - \text{Ag}$  в исследованном интервале энергии налетающих ионов не превышает 5%. Вклад процесса двукратной ионизации (4) также не превышает нескольких процентов. Примерно таким же остается соотношение сечений процессов ионизации при столкновениях ионов  $K^+$  с атомами  $\text{Xe}$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что в исследованной области энергии столкновения ионизация атомов  $\text{Ag}$  и  $\text{Xe}$  ионами  $K^+$  практически полностью определяется процессами автоионизации (1) и ионизации с возбуждением (3).

При исследовании рассеяния ионов  $K^+$  на атомах  $\text{Ne}$  неупругих потерь энергии, связанных с процессами возбуждения автоионизационных состояний и ионизации с возбуждением, не обнаружено.

Авторы признательны проф. Н.В.Федоренко за постоянный интерес к работе.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
5 октября 1970 г.

### Литература

- [1] D.E.Moe, O.H.Petsch. Phys. Rev., 110, 1358, 1958; H.W.Barry. Phys. Rev., 127, 1634, 1962; В.И.Огурцов, Ю.Ф.Быдин. Письма в ЖЭТФ, 10, 134, 1969.
- [2] В.В.Афросимов, Ю.С.Гордеев, В.М.Лавров, С.Г.Шемелинин. ЖЭТФ, 55, 1569, 1968.
- [3] Ch. E.Moore. Atomic Energy Levels, 1, Nat. Bur. Std., Washington, 1949.
- [4] Г.Н.Огурцов, И.П.Флак, С.В.Авакян. ЖЭТФ, 57, 27, 1969.
- [5] Э.С.Парилис. Эффект Оже. Ташкент, Изд. Фан, 1969.