

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ЭЛЕКТРОНОВ, ОСВОБОЖДАЕМЫХ ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ ИОНОВ $Ag^+$ С АТОМАМИ $Ag$

*Г.Н.Огурцов, И.П.Флакс, С.В.Авакян, Н.В.Федоренко*

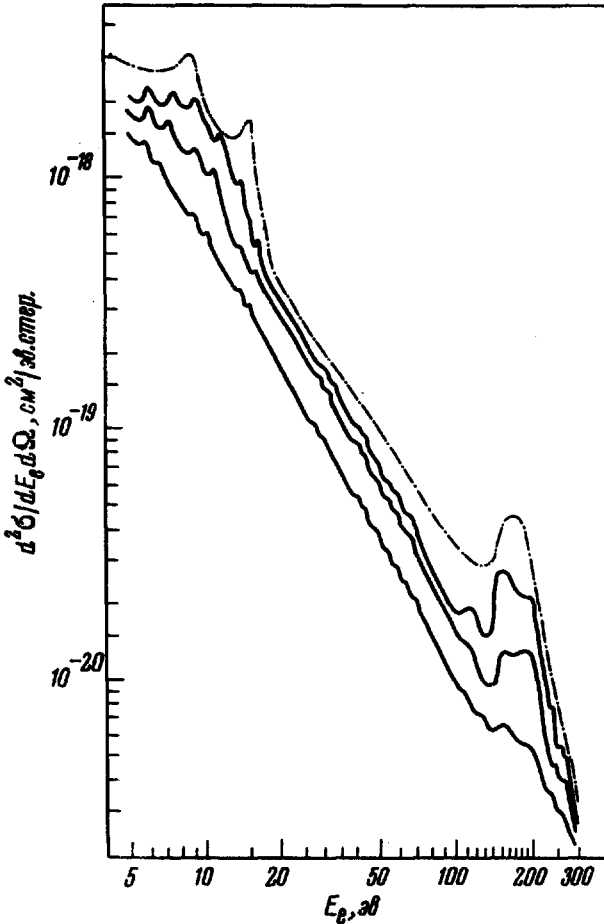
Для выяснения характера механизма неупругих атомных столкновений, и, в частности, вопроса о природе характеристических неупругих потерь энергии [1, 2] большое значение имеет изучение энергетического спектра электронов, освобождаемых при ионизационных процессах с участием тяжелых атомных частиц.

В настоящей работе приводятся предварительные результаты такого исследования для пары  $Ag^+ - Ag$  при трех значениях энергии соударения: 5, 15 и 25  $\kappa эв$  в диапазоне энергий электронов 5 + 300  $эв$ . Методика эксперимента подробно будет описана позже. Электроны анализировались по энергии в цилиндрическом электростатическом анализаторе типа Блаута [3]. Угол вылета электронов, определяемый условием фокусировки первого порядка, составлял  $54,5^\circ$  относительно оси пучка. Высокая разрешающая сила прибора ( $\leq 1\%$ ) в сочетании с высокой чувствительностью и малой относительной погрешностью измерений ( $\leq \pm 6\%$ ) позволили обнаружить целый ряд структурных особенностей в энергетическом распределении электронов.

На рисунке представлены полученные энергетические спектры электронов. По оси ординат нанесены абсолютные величины дифференциальных сечений образования электронов, отнесенные к единице телесного угла и единичному интервалу энергий, а по оси абсцисс — энергии электронов  $E_e$ . Пунктирной кривой представлены для сравнения данные работы [4]. Как видно из графика, в энергетическом спектре электронов можно выделить непрерывную часть, плавно спадающую с увеличением энергии электронов по степенному закону (примерно как  $E_e^{-5/3}$ ), и накладывающуюся на нее структуру. Абсолютные значения сечений уменьшаются при уменьшении энергии соударения в соответствии с аналогичной зависимостью для величин полных сечений ионизации [5].

Как показал предварительный анализ, наблюдаемые линии спектра по своему положению достаточно хорошо соответствуют значениям энергий автоионизационных переходов для изолированного атома  $Ag$ . Однако в случае столкновений тяжелых атомных частиц (в отличие, например, от столкновений, при которых ударяющей частицей является электрон или фотон) эти линии могут быть сильно размыты вследствие доплеровского уширения, связанного со значительной передачей ки-

негической энергии частице отдачи ("жесткое" рассеяние [6]). Кроме того, как и в работе [4] наблюдались доплеровские двойники линий спектра электронов, испускаемых атомами отдачи. Эти двойники свя-



Энергетические распределения электронов, освобождаемых при столкновениях ионов  $Ag^+$  с атомами  $Ag$ . Сплошными линиями нанесены данные настоящей работы. Верхняя кривая соответствует энергии ударяющих ионов 25 кэв, средняя — 15 кэв, нижняя — 5 кэв. Угол вылета электронов  $54,5^\circ$ . Пунктирной кривой изображены данные работы [4] для той же пары частиц при энергии ударяющих ионов 100 кэв и угле вылета электронов  $160^\circ$

заны с испусканием электронов той же энергии из быстрой частицы и сдвинуты относительно основных линий в сторону больших энергий.

Вследствие указанных обстоятельств (в особенности существенных при больших значениях  $E_e$ ), структура спектра сильно усложняется и размывается в довольно значительном энергетическом интервале.

На структурной части энергетического спектра может быть выделено несколько групп линий: 1) группа линий в интервале  $E_e = 5 + 20 \text{ эв}$ , связанная с возбуждением  $M$ -оболочки  $Ag$ , 2) группа линий в интервале  $E_e = 110 + 220 \text{ эв}$ , обусловленная возбуждением  $L_{2,3}$ -подоболочки  $Ag$ , 3) группы линий, не обнаруженных в работе [4], в интервале  $E_e = 28 + 70 \text{ эв}$  и  $E_e = 245 + 280 \text{ эв}$ , обусловленных возбуждением  $L_1$ -подоболочки  $Ag$ . В области  $E_e = 5 + 20 \text{ эв}$  наиболее интенсивными являются пики, сосредоточенные вблизи  $E_e - 6 \text{ эв}$  и вызываемые автоионизационными переходами  $3s3p^54p \rightarrow 3s^2 3p^4$  и  $3s^3p^54s4p \rightarrow 3p^44p$ , а также вблизи  $E_e - 9,5 \text{ эв}$  (переходы  $3s3p^54s4p \rightarrow 3p^44s$  и  $3s3p^64s,p \rightarrow 3p^5$ ) и  $E_e - 14 \text{ эв}$  (переходы  $3p^44s4p \rightarrow 3p^5$  и  $3s^33p^54s4p \rightarrow 3s3p^6$ ).

Структура спектра в области  $E_e = 28 + 70 \text{ эв}$  обязана своим происхождением переходам Костера-Кронига с участием как электронов  $M$ -оболочки  $Ag$ , так и возбужденных электронов, находящихся в состояниях с главным квантовым числом  $n > 3$ . Непосредственные переходы на  $L_1$ -вакансию приводят к появлению структуры в области  $E_e = 245 + 280 \text{ эв}$ .

Резко выраженный подъем спектра в области  $E_e = 110 - 220 \text{ эв}$  обусловлен Оже-переходами с заполнением вакансии в  $L_{2,3}$ -подоболочке  $Ag$ . Большая протяженность этого участка спектра связана, по-видимому, с тем, что Оже-переходы могут происходить как в нейтральном, так и в многократно ионизованном атоме  $Ag$ . При увеличении зарядности иона, из которого испускаются Оже-электроны, линии спектра должны сдвигаться в сторону меньших энергий вследствие того, что при удалении электрона из внешней оболочки, сумма энергий связи двух наружных электронов возрастает значительно сильнее, чем энергия связи электрона, находящегося на внутренней оболочке атома.

Полученные нами результаты позволяют сделать следующие выводы о механизме неупругой передачи энергии при столкновении тяжелых атомных частиц.

При тесном сближении сталкивающихся частиц происходит сильное перекрытие оболочек в образующейся квазимолекуле, приводящее к возбуждению системы и образованию вакансий во внутренних оболочках. Снятие этого возбуждения путем автоионизационных переходов может происходить как после разлета атомных частиц, когда "инди-

видуальность" каждого атома выражена достаточно отчетливо, так и в момент столкновения, когда систему сталкивающихся частиц можно характеризовать свойствами квазимолекулы. Процессы первого типа играют основную роль при образовании структуры в энергетическом спектре электронов, в то время как процессы второго типа, по-видимому, обладают гораздо более широким энергетическим распределением и могут вносить существенный вклад в образование непрерывной части спектра. Можно предположить, что первые две линии характеристических потерь ( $R_I^*$  и  $R_{II}^*$  [1]) связаны с автоионизационными переходами, происходящими при возбуждении соответственно  $M$ -оболочки и  $L_{2,3}$ -подоболочки  $Ag$ . Однако точная идентификация линий неупругих потерь на основании данных о спектрах электронов затруднительна, так как в экспериментах, выполненных с помощью метода совпадений, исследуются процессы, происходящие при фиксированном значении параметра удара, в то время как в образовании электронов принимают участие процессы, имеющие место при всех значениях параметра удара.

Подробное исследование автоионизационных состояний  $Ag$  и идентификация линий энергетического спектра электронов будет приведена в наших следующих работах.

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

Поступило в редакцию  
26 августа 1968 г.

### Литература

- [1] В.В.Афросимов, Ю.С.Гордеев, М.Н.Панов, Н.В.Федоренко. ЖТФ, 34, 1613, 1964.
- [2] E. Everhart, Q. C. Kessel. Phys. Rev. Lett., 14, 247, 1965.
- [3] E. Blauth. Z. Phys., 147, 228, 1957.
- [4] M. E. Rudd, T. Jorgensen, D. J. Volz. Phys. Rev., 151, 28, 1966.
- [5] Н.В.Федоренко, УФН, 68, 481, 1959.
- [6] В.В.Афросимов, Н.В.Федоренко. ЖТФ, 27, 2557, 1957.