

МЕХАНИЗМ НЕУПРУГИХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ $\text{Li}^+ - \text{He}$

В. В. Афросимов, Ю. С. Гордеев, В. М. Лавров.

Вопрос об относительной роли различных механизмов динамической связи между квазимолекулярными термами при атомных столкновениях возник в связи с исследованиями нарушения адиабатичности при глубоких столкновениях. Было показано [1, 2], что помимо переходов между термами, связанных с радиальным движением сталкивающихся частиц (приближение Ландау – Зинера), важную роль могут играть переходы, связанные с вращением межъядерной оси сталкивающихся частиц.

В настоящей работе исследовались неупругие переходы при столкновениях легких частиц, когда при заданных скоростях соударения легко достигаются сильные сближения ядер. В этих условиях велики скорости вращения межъядерной оси и, следовательно, можно ожидать большой вероятности возбуждения неупругих переходов, обусловленных этим вращением.

В проведенных экспериментах использовался коллимированный монокинетический пучок ионов Li^+ , который поступал в камеру столкновений, наполненную гелием. Ионы, рассеянные на атомах гелия, выделялись по углу вращающимся коллиматором и анализировались по энергии электростатическим анализатором. Таким способом определялись зависимости дифференциальных сечений рассеяния ионов на фиксированные углы от величины неупругой потери энергии (спектры неупругих потерь). Интервал энергий налетающих ионов Li^+ составлял $0,6 \div 4,0 \text{ кэВ}$, интервал рассеяния – $1 \div 10^\circ$.

Было найдено, что спектры потерь состоят из ряда пиков. Идентификация пиков проводилась по данным об энергетических уровнях изолированных частиц – иона и атома. Пики в спектрах соответствуют упругому рассеянию, а также неупругому рассеянию с возбуждением, ионизацией и образованием автоионизационных состояний атомов-мишеней.

Установлено, что при столкновениях $\text{Li}^+ - \text{He}$ с наибольшей вероятностью возбуждаются уровень $\text{He } 1s 2p^1 P$ (среднее энергетическое положение соответствующего пика в спектрах потерь составляет $21,2 \text{ эВ}$) и автоионизационные уровни $\text{He } 2s^2 1S$, $2p^2 1D$, $2s 2p^1 P$ (среднее энергетическое положение соответствующего пика $59,3 \text{ эВ}$).

Дифференциальные сечения возбуждения этих уровней, а также сечение упругого рассеяния приведены на рис. 1. Сечения даны в координатах $\rho = \theta \sin \theta \sigma(\tau)$ и $\tau = E\theta$, где θ , E и σ – угол рассеяния, кинетическая энергия и дифференциальное сечение в системе центра масс.

Дифференциальное сечение возбуждения уровня $\text{He } 1s 2p^1 P$ обладает рядом характерных особенностей, отличающих поведение этого сечения от ранее исследовавшихся случаев возбуждения уровней при атомных столкновениях (например, в [3]). К этим особенностям от-

носятся зависимость положения припороговой области угловой зависимости сечения от энергии соударения, сравнительно медленный рост дифференциального сечения в припороговой области, отсутствие осцилляций сечения (рис. 2). Отличием столкновений $\text{Li}^+ - \text{He}$ от ранее исследовавшихся случаев является также то, что ионы, вызывающие возбуждение уровня $\text{He } 1s 2p \ ^1P$, в припороговой области рассеиваются на меньшие углы по сравнению с ионами, рассеяние которых сопровождается автоионизацией атома мишени (рис. 1, кривые 2 и 3). Эти особенности столкновений $\text{Li}^+ - \text{He}$ подтверждаются недавно выполненными измерениями сечений рассеяния ионов при энергиях 1,0; 1,5; 2,0 кэВ [4] и 1,5; 2,0; 3,0 кэВ [5].

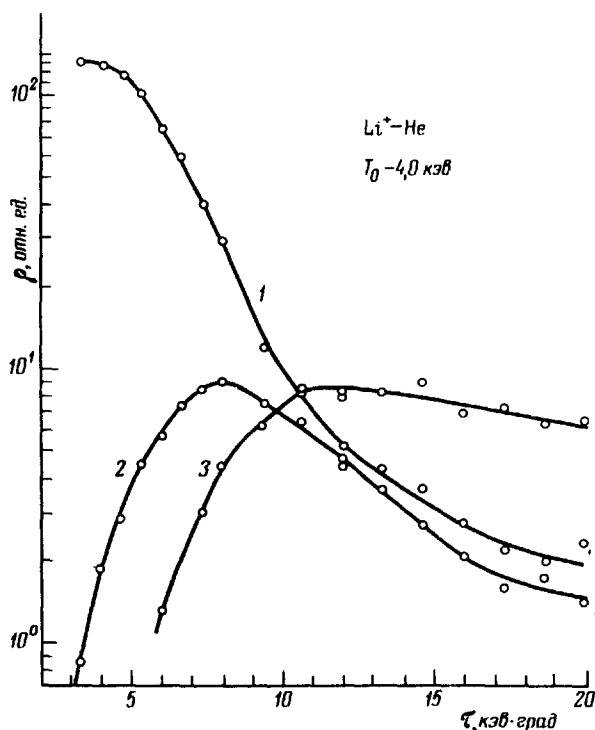


Рис. 1. Зависимости от угла рассеяния дифференциальных сечений: 1 — упругого рассеяния, 2 — возбуждения уровня $\text{He } 1s 2p \ ^1P$, 3 — возбуждения автоионизационных уровней $\text{He } 2s \ ^2^1S$, $2p^2 \ ^1D$, $2s 2p \ ^1P$

Анализ механизма возбуждения неупругих переходов проводился на основе корреляционной диаграммы адиабатических термов системы $\text{Li}^+ - \text{He}$ (рис. 3). Диаграмма была получена из соответствующей корреляционной диаграммы молекулярных орбиталей. При построении диаграммы орбиталей предполагалось, что число нулей радиальных частей волновых функций электронов не изменяется при переходе от предельного случая разъединенных атомов к объединенному атому. При выборе наиболее вероятных состояний из возможных состояний электронов в предельном случае объединенного атома учитывалось изменение эффективных зарядов, в поле которых движутся электроны, при переходе от одного предельного случая к другому.

Сопоставление корреляционной диаграммы термов с экспериментальными результатами позволяет сделать следующие выводы относительно механизма возбуждения неупругих переходов при столкновениях $\text{Li}^+ - \text{He}$.

1. Возбуждение уровней атома He связано с переходами как между термами одинаковой симметрии ($^1\Sigma - ^1\Sigma$ и $^1\pi - ^1\pi$ - переходы), так и с переходами между термами различной симметрии ($^1\Sigma - ^1\pi$, $^1\pi - ^1\Delta$ - переходы).

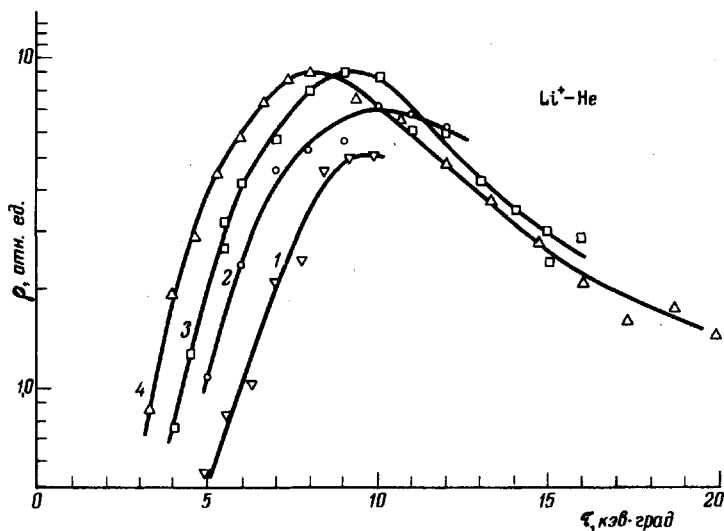


Рис. 2. Зависимости дифференциальных сечений возбуждения уровня He $1s 2p ^1P$ от угла рассеяния при различных значениях энергии ионов: 1 - $T_0 = 1,4$ кэв; 2 - $T_0 = 2,0$ кэв; 3 - $T_0 = 3,0$ кэв; 4 - $T_0 = 4,0$ кэв.

В возбужденном состоянии $1s 2p ^1P$ атом He оказывается в результате последовательного осуществления переходов при взаимодействии терма $(2p\sigma^2) ^1\Sigma$ с термами $(2s\sigma^2) ^1\Sigma$, $(2s\sigma 2p\sigma) ^1\Sigma$, $(2s\sigma 2p\pi) ^1\pi$, $(2p\sigma 2p\pi) ^1\pi$, а также вследствие взаимодействия указанных π -термов между собой. Существенное значение при этом имеют переходы вследствие вращения межъядерной оси между термами $(2p\sigma^2) ^1\Sigma$ и $(2p\sigma 2p\pi) ^1\pi$, сближающимися с уменьшением межъядерного расстояния и вырождающимися в пределе объединенного атома и терм $(2p^2) ^1D$.

В припороговой области углов рассеяния экспериментальное сечение возбуждения уровня He $1s 2p ^1P$ значительно (до нескольких раз) превышает теоретическое [6], при вычислении которого учитывалось взаимодействие только между термами $(2p\sigma^2) ^1\Sigma$, $(2p\sigma 2p\pi) ^1\pi$ и $(2p^2) ^1D$. Причиной этого расхождения, по нашему мнению, может быть значительная роль перехода вследствие вращения межъядерной оси между термами $(2p\sigma^2) ^1\Sigma$ и $(2s\sigma 2p\pi) ^1\pi$, неучтенная в расчете [6].

2. Наиболее важным из неупругих процессов при столкновениях $Li^+ - He$ представляется процесс перезарядки. Дифференциальные сечения перезарядки, полученные нами вычитанием суммарного сечения неупругих процессов из расчетного полного сечения рассеяния, отличаются теми же, перечисленными выше, особенностями, что и сечение возбуждения $1s 2p ^1P$ уровня He. Эти особенности характерны для переходов, механизм возбуждения которых связан с вращением межъ-

3. При столкновениях в исследованном нами диапазоне энергий соударения легко достигаются межъядерные расстояния $\sim 0,2 \div 0,4$ ат. ед. При этом возмущение, вызываемое вращением межъядерной оси ($\sim 5 - 20$ эв), оказывается достаточным для интенсивного перемешивания термов системы, отличающихся свойствами симметрии: терм $(2p\sigma^2)^1\Sigma$ взаимодействует с термами $(2p\sigma 2p\pi)^1\pi$ и $(2s\sigma 2p\pi)^1\pi$, а те, в свою очередь, с термами $(2p\pi^2)^1\Delta$ и $(2s\sigma 2p\sigma)^1\Sigma$ соответственно. Вследствие этого при количественном рассмотрении процессов возбуждения возникает задача одновременного учета всей совокупности взаимодействующих термов

Авторы благодарны В.М. Микушкину за помощь в работе и выражают признательность доктору Д. Лоренцу за дискуссии и препринт работы [4] до ее опубликования.

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

Поступила в редакцию
28 августа 1972 г.

Литература

- [1] D.R.Bates, R.McCarroll. Proc. Roy. Soc., A245, 175, 1958.
- [2] Б.М.Смирнов. Оптика и спектроскопия, 17, 504, 1964.
- [3] D.Coffey, Jr., D.C.Lorents, F.T.Smith. Phys. Rev., 187, 201, 1969.
- [4] D.C.Lorents, G.M.Conklin. J. of Phys. B: Atomic and Molecular Physics, 5, 950, 1972.
- [5] R.Francois, D.Dhuicg, M.Barat, T. of Phys. B: Atomic and Molecular Physics, 5, 963, 1972.
- [6] R. McCarroll, R.D.Piacentini. J. of Phys. B: Atomic and Molecular, Physics, 5, 973, 1972.
- [7] З.З.Латыпов, А.А.Шалопоренко. ЖТФ, 42, 147, 1972.