

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

## АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

УДК 537.534.74, 537.533.74

**К ВОПРОСУ О ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЯХ ИОНОВ  
ПРИ ТОРМОЖЕНИИ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ И ГАЗАХ****В. В. Балашов, А. А. Соколик, А. В. Стысин**

(НИИЯФ)

E-mail: balvse@anna19.npi.msu.su

**Методом связанных кинетических уравнений выполнено моделирование эксперимента по прохождению пучка многозарядных ионов через сплошную мишень и мишень, разделенную на отстоящие друг от друга слои. Сделано заключение относительно роли возбужденных состояний ионов в наблюдаемом эффекте.**

Вопрос об особенностях торможения в твердых телах и газах ионов, несущих с собой какое-то число связанных электронов, привлекает большое внимание экспериментаторов и теоретиков со времени работ классиков теории торможения [1,2]. Из общих соображений следует (и большой ряд экспериментов, выполненных в прошлые годы, в основном с легкими ионами, подтверждает это), что образование возбужденных состояний ионов в процессе их прохождения через мишень приводит к расхождению между количествами энергии, теряемой ионом при прохождении слоя одной и той же весовой толщины в твердом теле и в газе. Недавние эксперименты, выполненные большой группой исследователей на синхротроне GSI (Дармштадт, Германия) [3], показали, что ускоренная ионизация возбужденных

ионов по сравнению с тем, как идет тот же процесс с ионами в основном состоянии, способствует усилению их торможения в твердотельных мишенях. Вопрос особенно интересен применительно к предравновесному (относительно распределения зарядовых фракций ионного пучка) режиму прохождения, исследование которого проводится с использованием тонких пленок.

Некоторое время тому назад П. Моклер (GSI, Дармштадт) обратил внимание [4] на возможность моделирования эффекта промежуточных возбуждений ионов в эксперименте, где пучок многозарядных ионов направляется на две последовательно расположенные тонкие мишени, разнесенные друг относительно друга на некоторое расстояние. Если это расстояние достаточно велико по сравнению со

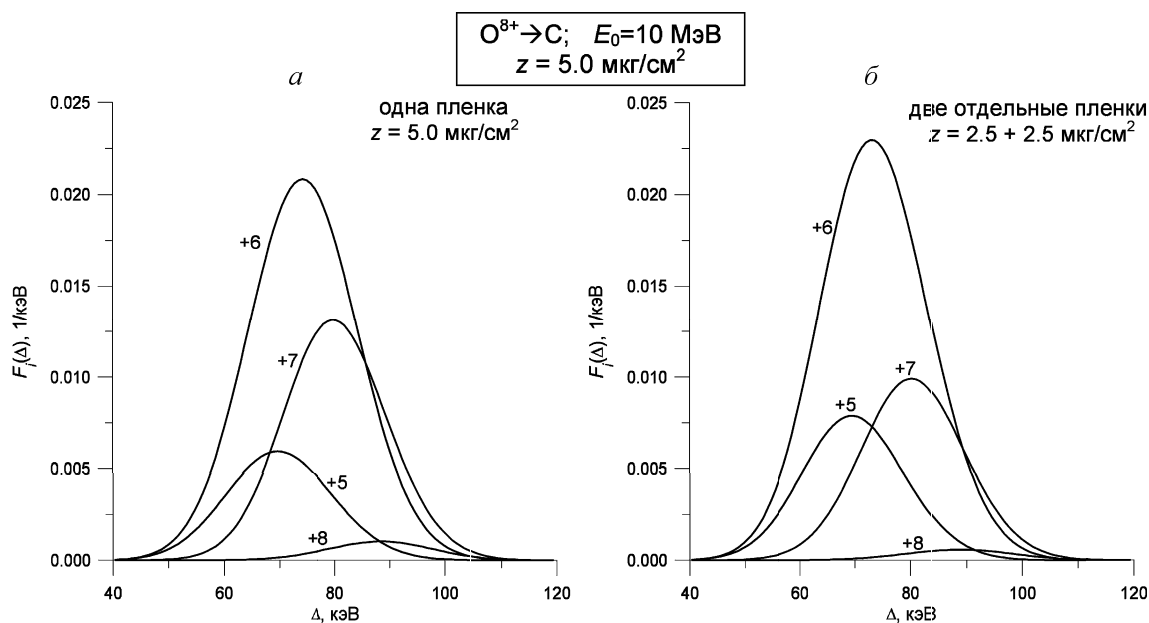
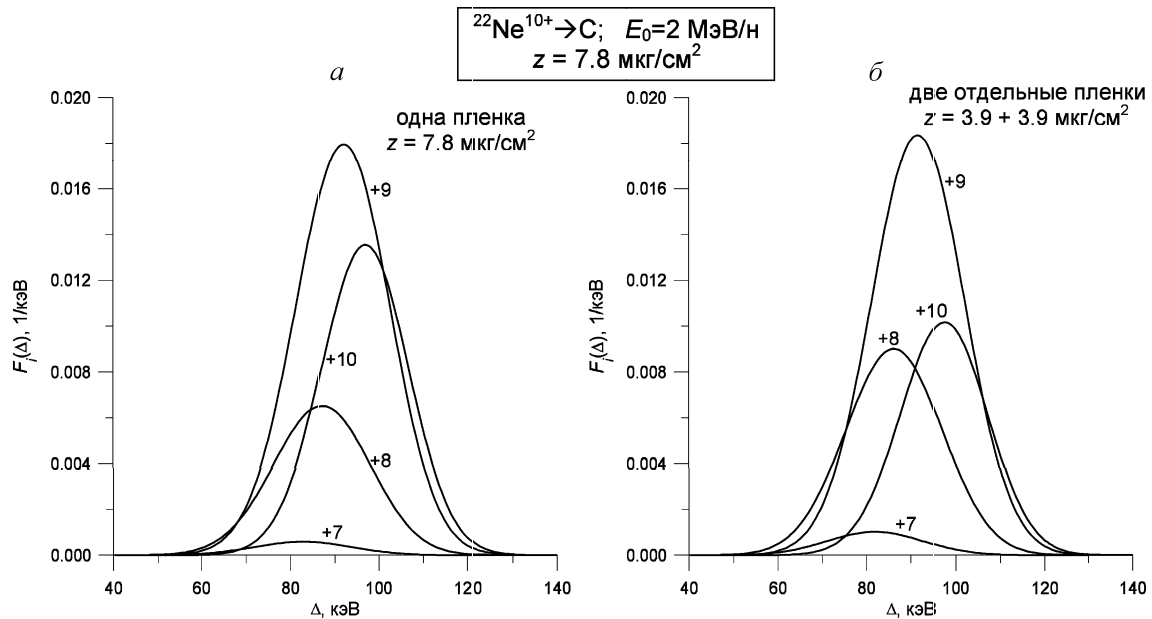


Рис. 1. Спектр энергетических потерь  $F_i(\Delta)$  для ионов  $^{16}\text{O}$ , покидающих мишень в указанных зарядовых состояниях: (а) одна пленка; (б) две пленки той же суммарной толщины

Рис. 2. Аналогично рис. 1 для ионов  $^{22}\text{Ne}$ 

средней длиной спонтанного высвечивания возбуждений, созданных в первой мишени, ионы входят во вторую, находясь в основном состоянии. Это создает подобие прохождения пучка ионов через газ. Соединение обеих мишеней в единую мишень суммарной толщины возвращает к обычной ситуации прохождения через твердое тело.

К настоящему времени накоплено достаточно экспериментальных данных и результатов расчетов для того, чтобы количественно оценить масштаб эффекта при сравнении результатов возможных измерений по изложенной выше схеме в двух вариантах эксперимента с двумя пленками в типичных для современного уровня условиях, относящихся к параметрам ионного пучка и свойств мишеней. В проводимых нами теоретических расчетах используется метод связанных кинетических уравнений [5], уже нашедший свое применение в анализе новейших экспериментов по прохождению ионов через тонкие пленки [6]. Мы моделируем эксперимент с двумя пленками для ионов  $^{16}\text{O}$  с энергией 10 МэВ и ионов  $^{22}\text{Ne}$  с энергией 44 МэВ при прохождении через тонкие углеродные пленки.

На рис. 1 показаны рассчитанные спектры энергетических потерь ионов  $^{16}\text{O}$ , падающих на мишень в зарядовом состоянии  $\text{O}^{8+}$ . Полная толщина углеродной мишени составляет  $5 \text{ мкг/см}^2$ . Необходимые для расчетов данные о скоростях переходов между различными конфигурациями ионов взяты из [7], а тормозные способности и параметры стрегглинга вычисляем так же, как это сделано в работе [6]. На рис. 2 показаны аналогичные спектры для ионов  $^{22}\text{Ne}$ . Необходимые данные взяты из [8, 9].

Наши вычисления показывают, что измерения по схеме двух пленок в условиях, где сорт и энергия ионов, а также толщина мишеней были бы близки к тем, в которых выполнены характерные эксперименты последнего времени по прохождению многозарядных ионов через тонкие пленки, хорошо соответствуют задаче выявить механизм влияния промежуточных возбуждений ионов на различие их торможения в твердом теле и газах до достижения зарядового равновесия между фракциями проходящего пучка.

Авторы благодарны проф. П. Моклеру за обсуждение.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 04-02-16742).

#### Литература

1. Bohr N. // *Phylos. Mag.* 1913. **25**. P. 10.
2. Bethe H. // *Ann. of Phys. (Leipzig)*. 1930. **5**. P. 325.
3. Ogawa H., Portillo M., Fettouhi A., Gessel H. // *Int. Conf. ICACS-2004 (Genova, Italy)*. Book of Abstracts. P. 33.
4. Mokler P.H. // Частное сообщение.
5. Балашов В.В., Бибииков А.В., Бодренко И.В. // *ЖЭТФ*. 1999. **111**. P. 2226.
6. Balashov V.V. // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 2003. **B205**. P. 813.
7. Rosner B., Datz S., Wu W. // *Phys. Rev.* 1998. **A57**. P. 2737.
8. Blazevic A., Bohlen H.G., von Oertzen W. // *Phys. Rev.* **A61**. P. 032901.
9. Blazevic A., Bohlen H.G., von Oertzen W. // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 2002. **B190**. P. 64.

Поступила в редакцию  
24.12.04