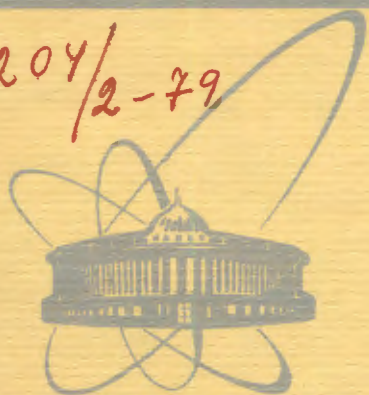


2204/2-79



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований

дубна

С343e1

Б-891

11/VI-79

7 - 12202

Г.Бруннер, К.Г.Каун, З.Стахура, В.Франк

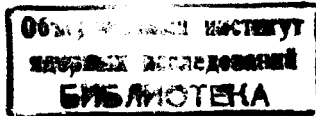
ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЯ ИОНИЗАЦИИ
К-ОБОЛОЧКИ ОТ ПАРАМЕТРА СТОЛКНОВЕНИЯ
В СОУДАРЕНИЯХ Ni+Ni ПРИ ЭНЕРГИИ 67 МэВ

1979

7 - 12202

Г.Бруннер*, К.Г.Каун, З.Стахура, В.Франк*

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЯ ИОНИЗАЦИИ
К-ОБОЛОЧКИ ОТ ПАРАМЕТРА СТОЛКНОВЕНИЯ
В СОУДАРЕНИЯХ $Ni+Ni$ ПРИ ЭНЕРГИИ 67 МэВ



* ЦНИИЯД, Лейпциг /АН ГДР/.

Бруннер Г. и др.

7 - 12202

Изучение зависимости сечения ионизации К-оболочки от параметра столкновения в соударениях Ni+Ni при энергии 67 МэВ

Экспериментально изучена зависимость ионизации К-оболочки от параметра столкновения в соударениях Ni+Ni при энергии 67 МэВ. Описана методика регистрации мягкого рентгеновского излучения путем исследования совпадений спектра этого излучения с рассеянными тяжелыми ионами. Получены экспериментальные значения вероятности образования К-вакансии для малых параметров столкновений в области меньше 100 Фм. Проведено сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов по квазимолекулярной модели.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Brunner H. et al.

7 - 12202

Investigation of the Dependence of the K-Shell Ionization on the Collision Parameter in the Ni+Ni Collision at 67 MeV

An experiment has been carried out to investigate the dependence of the K-shell ionization on the collision parameter in the Ni+Ni collision at 67 MeV. The experimental technique used for detecting soft K-radiation in coincidence with the scattered heavy ions is described. The experimental results obtained for small values of the collision parameter in the region $b \leq 100$ fm are compared with the quasimolecular model calculations.

The investigations has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

1. ВВЕДЕНИЕ

Для описания механизма ионизации внутренних электронных оболочек в столкновениях двух тяжелых ионов при сравнительно небольшой энергии / $E \leq 1$ МэВ/нуклон/ применяется обычно так называемая модель квазимолекулярных орбит^{1-3/}. Согласно этой модели главную роль в образовании вакансий в К-оболочках сталкивающихся ионов играют электронные переходы, происходящие благодаря вращательной связи между $2p\pi$ -и $2p\sigma$ -состояниями квазимолекул при малых расстояниях между рассеивающимися ядрами. В рамках модели квазимолекулярных орбит удается получить качественно правильное описание полных сечений ионизации внутренних электронных оболочек и спектров квазимолекулярного излучения. Однако для более точного анализа границ применимости этой модели необходимо проводить измерения дифференциальных сечений процесса ионизации, т.е. изучение зависимости этого процесса от параметра столкновения рассеивающихся частиц. Для этого необходимо измерить спектр совпадений мягкого рентгеновского излучения, испускаемого при заполнении электронной дырки во внутренних атомных оболочках, с рассеянными в процессе столкновения на определенный угол ионами. Трудности в использовании указанного метода заключаются в том, что число рентгеновских квантов, регистрируемых при одном соударении, очень мало на значительном фоне случайных совпадений.

Метод совпадений для измерения дифференциального сечения ионизации К-оболочек атомных электронов применялся до сих пор довольно редко из-за указанных экспериментальных трудностей. Известно использование этого метода в основном для относительно легких ионов с небольшой энергией^{4,5/}, получен-

ные результаты находятся в хорошем согласии с предсказаниями модели квазимолекулярных орбит. Только в последнее время появились данные о дифференциальных сечениях ионизации К-оболочек в столкновениях более тяжелых ионов^{/6-9/}, которые хуже согласуются с расчетными и указывают на влияние дополнительных механизмов в процессе ионизации.

В настоящей работе проведено измерение спектров совпадения КХ-излучения никеля с рассеянными ионами в столкновениях Ni+Ni при энергии ионов 67 МэВ. Исследование других аспектов возбуждения рентгеновских спектров, испускаемых в симметричных столкновениях Ni+Ni, проводилось авторами настоящей работы раньше^{/10-12/}.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Эксперимент проводился на выведенном пучке тяжелых ионов циклотрона У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Принципиальная схема эксперимента изображена на рис. 1. Ионы

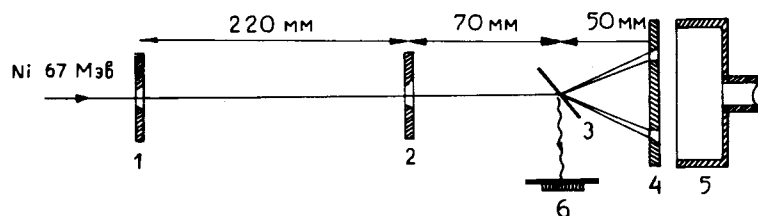


Рис.1. Принципиальная схема эксперимента для измерения спектра совпадений рентгеновских квантов с рассеянными под определенным углом ионами. 1, 2 - коллиматор первичного пучка, 3 - мишень, 4 - кольцевая диафрагма, 5 - детектор рассеянных ионов.

$^{60}\text{Ni}^{4+}$, ускоренные циклотроном до энергии 67 МэВ, проходили через коллиматор длиной 220 мм, состоящий из двух диафрагм диаметром 2 мм, и попадали на металлическую мишень из никеля толщиной 560 мкг/см². Рассеянные атомами мишени ионы могли проходить через кольцевую диафрагму из алюминия с отверстием шириной 1 мм в детектор для регистрации ионов.

Нерассеянный пучок тормозился в алюминии кольцевой диафрагмы. Ионы, прошедшие через отверстие диафрагмы, регистрировались газонаполненным /пары метанола под давлением 13 Тор/ лавинным счетчиком^{/13/}, устройство и схема подключения которого показаны на рис. 2. Давление в счетчике стабилизировалось с помощью элемента Пельте. При напряжении на счетчике 680 В и давлении 13 мм рт.ст. коэффициент газового усиления составлял примерно $10^3 \div 10^4$. Входное окно счетчика выполнено из фольги титана толщиной 2,3 мкм. Спектр импульсов рассеянных под углом 13° ионов, который регистрировался этим

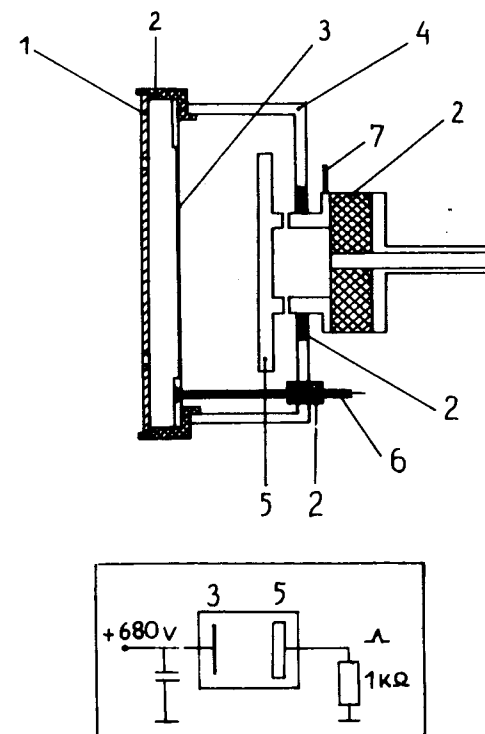


Рис.2. Устройство и схема подключения газонаполненного детектора рассеянных ионов. 1 - кольцевая диафрагма из алюминия, 2 - изоляторы, 3 - входное окно из тонкой фольги титана, 4 - корпус детектора, 5 - собирающий электрод, 6 - привод напряжения, 7 - контакт для снятия сигнала.

счетчиком, показан на рис. 3. Рентгеновские кванты, испускаемые при столкновениях ионов никеля с атомами мишени, регистрировались германиевым детектором с чувствительным объемом $200 \text{ мм} \times 7 \text{ мм}$. Разрешение этого детектора составляло около 250 эВ для рентгеновских квантов с энергией 14 КэВ .

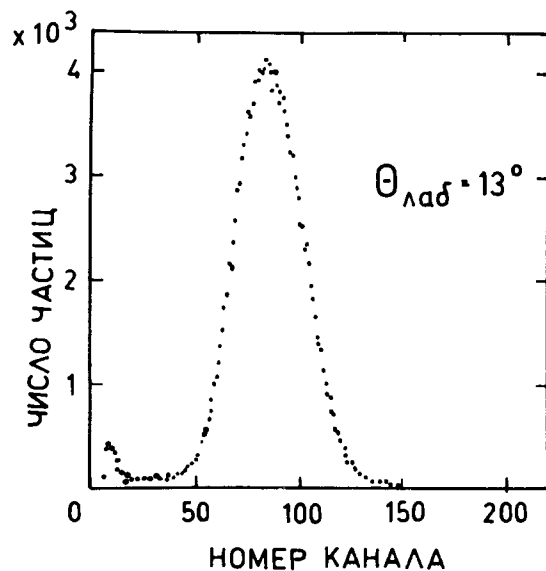


Рис.3. Спектр импульсов детектора рассеянных ионов.

Детектор рентгеновских лучей находился вне вакуумной камеры и был отделен от нее бериллиевым окном толщиной $0,3 \text{ мм}$. Совпадения рентгеновского КХ-излучения с рассеянными ионами регистрировались с помощью стандартной быстро-медленной схемы совпадений и записывались в память ЭВМ типа ТРА-1. Одновременно регистрировался одиночный спектр рассеянных под данным углом ионов никеля. Чтобы по возможности снизить число случайных совпадений, интенсивность первичного пучка устанавливали не выше одного наноампера. В наших измерениях скорость счета рентгеновского детектора не превышала 100 имп./с и детектора рассеянных ионов - 50 имп./с . При этом число совпадений составляло примерно одно событие

в секунду, а отношение истинных совпадений к случайным было не хуже чем три. Временной спектр, полученный с помощью схемы быстрых совпадений, показан на рис. 4. Временное разрешение схемы - 25 нс , что при регистрации очень мягкого рентгеновского излучения никеля является хорошим результатом. Левый пик на рис. 4 содержит истинные совпадения, а правый представляет собой случайные совпадения от следующего импульса частиц циклотрона, приходящего в соответствии с частотой циклотрона на 200 нс позже.

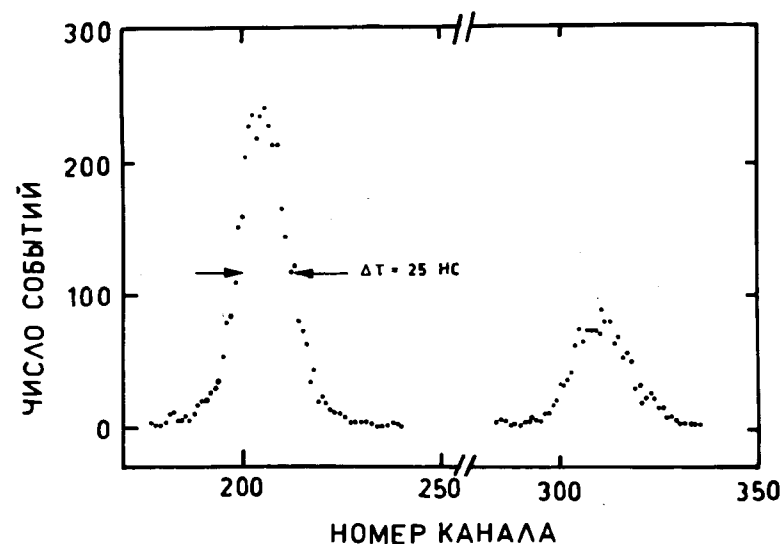


Рис.4. Временной спектр, полученный с помощью схемы быстрых совпадений.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Спектр совпадений характеристических КХ-лучей никеля с рассеянными под углом 15° ионами показан на рис. 5. Приведен также зарегистрированный одновременно с ним спектр случайных совпадений. Для получения зависимости выхода КХ-лучей от угла рассеяния ионов было вычислено отношение числа

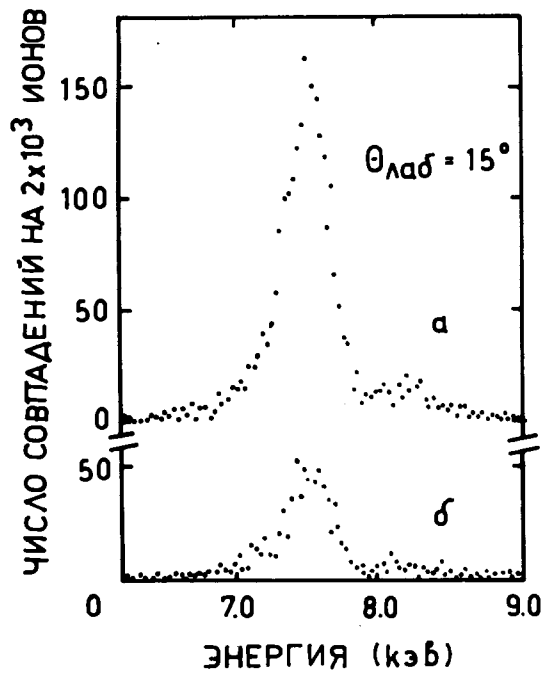


Рис.5. Спектр совпадений характеристического КХ-излучения никеля с рассеянными под углом 15° ионами /а/ и спектр случайных совпадений /б/.

истинных совпадений, после коррекции его на эффективность и телесный угол рентгеновского детектора и числа одновременно зарегистрированных ионов, рассеянных под данным углом. Полученная таким образом угловая зависимость выхода КХ-лучей была трансформирована в зависимость от параметра столкновения в соответствии с соотношением для Резерфордского рассеяния. Поскольку мы измеряли рассеяние только под относительно большими углами, то пренебрегали при этом эффектом экранировки кулоновского потенциала и многократным рассеянием в сравнительно толстой мишени.

Из полученной зависимости $P_x(b)$ выхода КХ-лучей вычислялась вероятность образования вакансий в К-оболочке с использованием формулы $P(b) = P_x(b) / \omega_K$, где ω_K - выход флюоресценции на К-оболочке. Согласно работе^{/14/} выход

флюоресценции ω_K , зависящий вообще еще от числа вакансий в L- и M-оболочках, не меняется больше чем на 20% для разных конфигураций электронов во внешних оболочках. Из-за больших статистических ошибок в определении $P_x(b)$ мы приняли для ω_K такое же значение, как для нейтрального атома. Кроме того, мы предполагали, что число вакансий в L-оболочке не меняется сильно с параметром столкновения^{/2,5/}.

Полученная таким образом вероятность образования вакансий в К-оболочке $P(b)$ в столкновениях Ni+Ni при энергии 67 МэВ представлена на рис. 6. Расчет указанных на рисунке экспериментальных погрешностей проводился с учетом только

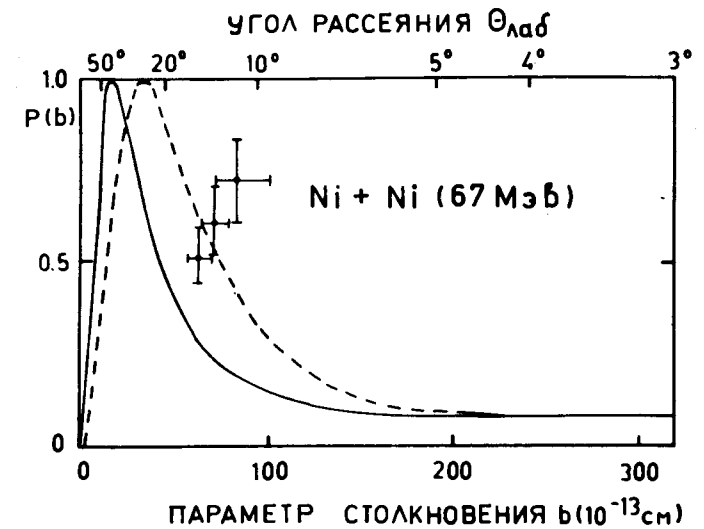


Рис.6. Вероятность образования вакансий в К-оболочке $P(b)$ при столкновениях Ni+Ni в области $b \leq 100$ Фм. Кривые - результаты расчетов по модели квазимолекулярных орбит.

статистических ошибок в определении числа истинных совпадений, погрешностей в определении абсолютной эффективности германевого детектора и неопределенности угла рассеяния ионов из-за конечных размеров пучка и кольцевой диафрагмы для регистрации рассеянных ионов. На рис. 6 показаны также теоретические кривые вероятности $P(b)$, рассчитанные по

модели квазимолекулярных орбит. Сплошная кривая взята из работы Таульберга и др.^{/3/} после соответствующего масштабного преобразования для симметричной системы Ni+Ni при энергии 67 МэВ. Штрихованная кривая получена для этой же системы в расчетах Эгера и др.^{/11/}. Теоретические кривые P(b) показывают вероятность электронных переходов из $2p\pi$ - в $2p\sigma$ - состояние из-за вращательной связи этих уровней в квазимолекулярной модели для адиабатических столкновений с предположением, что в $2p\pi$ -состоянии квазимолекулы образовалась одна дырка в начале процесса столкновения. Экспериментальные значения P(b) при $b \leq 100$ Фм значительно превышают расчетные. Кроме того, намечается рост экспериментальных значений с увеличением параметра столкновения в области, где согласно предсказаниям теории должно наблюдаться уменьшение значения P(b). Подобные отступления от предсказаний чисто квазимолекулярной модели наблюдались недавно в работе^{/7/}. Полученные нами предварительные данные о величине P(b) в системе Ni+Ni при энергии 67 МэВ требуют более детального изучения зависимости P(b) в широком диапазоне изменения параметра столкновения.

Авторы выражают благодарность П.Ярачу, Ю.Рюдигеру, М.Новицки, Ю.Графову и У.Брухертзайфер за помощь при проведении эксперимента и обработке результатов, а также группе эксплуатации У-300 за получение пучков ускоренных ионов никеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fano U., Lichten W. *Phys.Rev.Lett.*, 1965, 14, p. 627.
2. Meyerhof W.E., Taulbjerg K. *Ann.Rev.Nucl.Sci.*, 1977, 27, p. 279.
3. Taulbjerg K., Briggs J.S., Vaaben J. *J.Phys.*, 1976, B9, p. 1351.
4. Fastrup B. et al. *Phys.Rev.*, 1974, A9, p. 2518.
5. Luz N., Sackmann S., Lutz H.O. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 1976, 11, p. 120.
6. Liesen D. et al. *Phys.Rev.*, 1978, A17, p. 897.
7. Liesen D. et al. *GSI Jahresbericht, GSI-J-1-78*, p. 105, Darmstadt 1978.

8. Behncke H.H. et al. *Z.Physik*, 1978, A288, p. 35.
9. Macdonald J.R. et al. *Z.Physik*, 1978, A284, p. 57.
10. Frank W. et al. *JINR, E7-9427, Dubna*, 1975.
Truskova N.F. et al. *JINR, E7-9946, Dubna*, 1975.
Frank W. et al. *JINR, E7-10132, Dubna*, 1976.
11. Heinig K.H. et al. *JINR, E7-9862, Dubna*, 1976; *J.Phys.*, 1977, B10, p. 1321.
12. Франк В., Манфрасс П., Каун К.Г. *ЭЧАЯ*, 1977, т. 8, вып. 6, с. 1246.
13. Gaukler G. et al. *Nucl.Instr.Methods*, 1977, 141, p. 115.
14. Forther R., Garcia J. *Phys.Rev.*, 1975, A12, p. 856.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 января 1978 года.