

СЗУЗет
3-784

956/2-76

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



15/3-76

P7 - 9377

Х.Зодан, Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич,
В.Н.Полянский, Х.Брухертзайфер

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАРЬЕРА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ ^{58}Fe
С ЯДРАМИ СВИНЦА

1975

P7 - 9377

Х.Зодан, Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич,
В.Н.Полянский, Х.Брухертзайфер

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАРЬЕРА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ ^{58}Fe
С ЯДРАМИ СВИНЦА

Объединенный институт
ядерных исследований
БНБ/МОТЕНА

Зодан Х. и др.

P7 - 9377

Определение барьера взаимодействия ионов ^{58}Fe с ядрами свинца

Описывается метод измерения функций возбуждения реакций деления тяжелых составных ядер с помощью регистрации характеристического рентгеновского излучения осколков деления. Приводятся экспериментальные результаты по определению барьера взаимодействия и $r_{\text{эфф}}$ для реакции $\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$. Полученные данные сравниваются с результатами других работ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Sodan H. et al.

P7 - 9377

Determination of the Barrier of the Interaction of ^{58}Fe Ions with Pb Nuclei

A method is described for measuring the excitation functions of reactions involving fission of heavy compound nuclei by detecting the characteristic X-ray radiation of fission fragments. The experimental results on the interaction barrier and r_{eff} for the reaction $\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$ are presented. The results obtained are compared with those of other papers.

The investigation has been performed at Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

Проблема определения барьеров взаимодействия тяжелых ионов с ядрами является весьма важной в физике тяжелых ионов. Это объясняется тем, что знание энергетического барьера, при котором начинается ядерное взаимодействие, дает ценную информацию о самом механизме ядерной реакции. Кроме этого, барьер взаимодействия непосредственно связан с эффективным радиусом взаимодействия двух ядер ($r_{\text{эфф}}$), который является параметром, рассчитываемым на основе тех или иных теоретических представлений о двух взаимодействующих ядрах. Таким образом, сравнивая экспериментальное и теоретическое значения $r_{\text{эфф}}$, можно делать выводы о применимости данной теоретической модели к описанию ядерной реакции. И, наконец, предсказание возможностей нового метода синтеза тяжелых ядер, успешно использованного для получения нового элемента с $Z = 106$ и оснывающегося на образовании в реакциях слияния тяжелых ядер и ионов с $A > 40$ слабо возбужденных составных ядер^{1/}, может быть сделано только при наличии экспериментальной информации о величине барьера взаимодействия. Необходимо заметить, что в последнее время появился ряд теоретических работ, посвященных определению эффективного радиуса взаимодействия^{2-5/}. В большинстве из них на основе тех или иных модельных представлений о взаимодействии двух сложных ядер предсказывается существенное уменьшение эффективного радиуса взаимодействия, а следовательно, увеличение энергетического барьера слияния уже для реакций с тяжелы-

ми ионами с $A \geq 40$. В работе Я. Вильчинского^{/4/} рассчитывались барьеры взаимодействия для разных ядерных реакций, в том числе и реакций с ионами ^{40}Ar и ^{52}Cr , изученных в работе^{/6/}. Расчет проводился на основе оптического подхода, а параметр ядерного потенциала определялся на основе жидкокапельной модели. Предсказывается, что повышение барьера взаимодействия, а также барьера слияния не должно иметь места для реакций с тяжелыми ионами, вплоть до ^{52}Cr . Этот факт находится в согласии с экспериментом. Подробный анализ экспериментальных исследований дается в работе^{/7/}, откуда следует, что существенное повышение энергетического порога проявляется лишь в некоторых реакциях с ионами тяжелее $^{74}_{32}\text{Ge}$. В работе^{/8/} показано, что барьеры реакций малонуклонных передач и глубоко неупругих процессов при одной и той же комбинации мишень-частицы для столь тяжелых ионов имеют разную величину.

В настоящей работе определялся барьер реакций деления составного ядра с $Z = 108$, образующегося в реакции слияния $\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$, а также барьер реакций передачи с использованием методики измерения характеристического рентгеновского излучения продуктов реакций. С этой целью использовалась следующая экспериментальная методика.

Мишень из естественного свинца толщиной 1 мг/см^2 облучалась на выведенном пучке ионов $^{58}\text{Fe}^{9+}$, ускоренных в циклотроне У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Продукты ядерных реакций тормозились в алюминиевых сборниках, расположенных за мишенью. Изменение энергии бомбардирующих ионов осуществлялось с помощью алюминиевых поглотителей, помещаемых перед мишенью. Энергия пучка ионов, прошедших через поглотитель, определялась в каждом случае с помощью Si(Au)-детектора по упругому рассеянию ионов на тонкой $d_{\text{Au}} = 200 \text{ мкг/см}^2$ золотой фольге. Энергетическое разрешение пучка после поглотителя максимальной толщины, измеренное с помощью детектора, составляло $3,5 \text{ МэВ}$. Зависимость полуширины энергетического спектра для различных энергий, полученная в данном опыте, представлена на рис. 1. На этом же рисунке для сравнения дается такая же зависимость для ионов ^{40}Ar . При

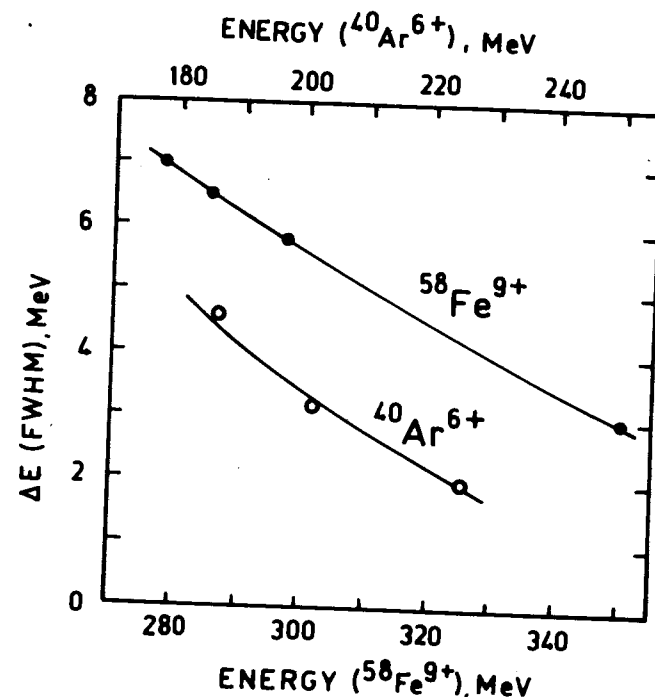


Рис. 1. Зависимость разрешения для выведенного пучка ионов ^{58}Fe и ^{40}Ar от их энергии.

определении абсолютного значения энергии ионов, рассеянных на золотой фольге, учитывались поправки, связанные с потерями энергии в "мертвом" слое детектора, за счет рассеяния иона на ядрах кремния, и рекомбинационные потери. Полная поправка к экспериментально измеренной энергии, обусловленная этими потерями, составила $2,5 \text{ МэВ}$. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что максимальная энергия ионов с зарядом q в циклотроне определяется формулой $E = 250 Z^2 / A \text{ МэВ}$. Для относительной привязки выходов продуктов реакций, получаемых при различных значениях энергий, измерялся относительный поток бомбардирующих ионов на мишени. Для этого во всех случаях перед поглотителем ставилась $2,5$ -микронная алюминиевая фольга, гамма-активность которой после облучения из-

мерялась на Ge(Li)-спектрометре. По выходам изотопов ^{56}Co и ^{57}Ni , образующихся в качестве продуктов реакции передачи из ядер ^{58}Fe , определялся относительный поток ионов на мишень при каждом значении энергии ионов.

Облучение мишеней из свинца производилось при четырех значениях энергии: 337, 298, 288 и 277 МэВ.

Из облученных мишеней и сборников с помощью радиохимической методики была выделена фракция редкоземельных элементов /РЗЭ/, которые образовывались в реакции в качестве осколков деления возбужденного составного ядра с $Z = 108$. Химический выход элементов определялся по вносимой перед разделением реперной активности ^{241}Am с точностью не хуже 3%. После радиохимического выделения РЗЭ для каждой мишени измерялись спектры характеристического рентгеновского К-излучения с помощью Ge-детектора, имеющего чувствительный объем $0,125\text{ см}^3$ и энергетическое разрешение 300 эВ при энергии 40 кэВ . При таком разрешении полностью разделяются $K\alpha_1$ - и $K\alpha_2$ -линии элементов с $Z > 60$.

Спектр КХ-лучей РЗЭ для реакции $\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$ представлен на рис. 2.

Измеряя интенсивность рентгеновского излучения для данного элемента и зная поправку на период полураспада, которая определялась нами в каждом случае, можно найти относительный выход данного элемента, который в принципе для области элементов, соответствующей осколкам деления, будет пропорционален сечению деления. Таким образом, измеряя зависимость выхода рентгеновского излучения для данного элемента, являющегося осколком деления, с учетом поправки на распад от энергии бомбардирующих ионов, можно получить функцию возбуждения для реакции деления. Данный метод измерения функции возбуждения обладает наибольшей чувствительностью для изотопов с большим выходом КХ-лучей, т.е. для нейтронодефицитных ядер вблизи области стабильности. Такие ядра получают с наибольшим выходом в качестве осколков деления составных ядер в реакциях с тяжелыми ионами. В распаде этих ядер преобладает К-захват / $\text{EC}/\beta^+ > 1$ /, дающий обычно $0,8 - 0,9$ КХ-кван-

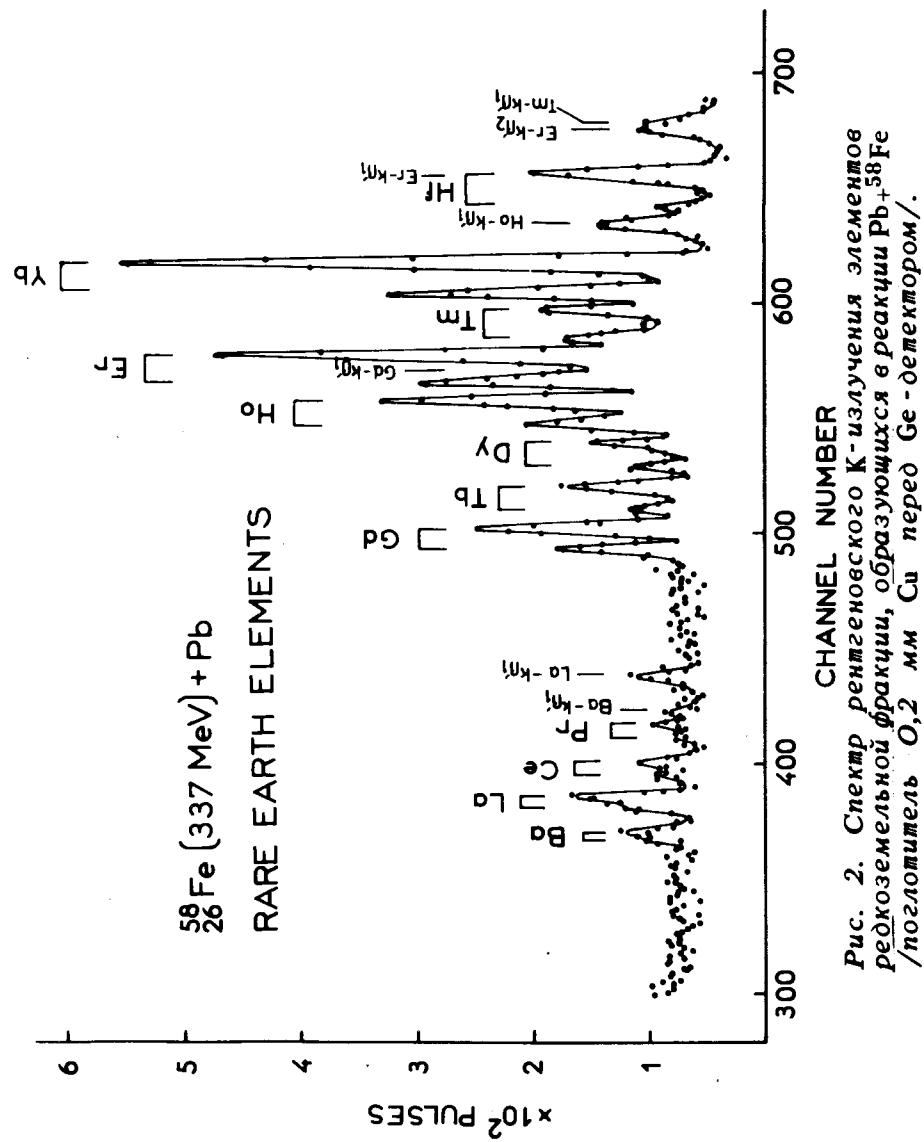


Рис. 2. Спектр рентгеновского К-излучения элементов редкоземельной фракции, образующихся в реакции $\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$ /поглотитель $0,2\text{ мм Si}$ перед Ge-детектором/.

тов на один распад. Внутренняя же К-конверсия вносит небольшой вклад, не превышающий обычно 10%.

Таким образом, для довольно широкого интервала по А нейтронодефицитных ядер получается выход КХ-квантов, близкий к единице. Кроме этого, в интенсивность К-линии данного элемента вносят вклад обычно несколько его изотопов, т.к. для осколков деления изотопное распределение является довольно широким ^{10/}. Это обстоятельство также увеличивает в несколько раз чувствительность метода. Необходимо заметить, что методика измерения характеристического рентгеновского излучения продуктов реакций в первую очередь может использоваться для экспрессного элементного анализа этих продуктов. Однако в том случае, когда время жизни одного из изотопов данного элемента заметно больше времени жизни других изотопов, является возможным определение выхода этого изотопа в данной реакции. В данной работе подобным образом был определен суммарный относительный выход изотопов ¹⁶⁹Lu и ¹⁷⁰Lu, а также ¹⁶⁶Tm, являющихся осколками деления составного ядра, образующегося при бомбардировке ядрами железа-58 мишени из свинца. С использованием метода гамма-спектроскопии и Ge(Li)-спектрометра ^{16/} был определен выход ²⁰⁶Pb, образующегося в результате реакции передачи из ядра мишени.

На рис. 3 представлены спектры КХ-лучей РЗЭ, измеренные спустя 6, 18 и 264 часа после облучения при энергии бомбардирующих ионов 337 МэВ. Был проведен анализ интенсивностей для К_α-линий Yb, образованных в результате распада изотопов Lu. Измеренный эффективный период полураспада активности для данной К_α-линии оказался равным 40 ч, что можно объяснить вкладом в данную активность изотопов ¹⁶⁹Lu, ¹⁷⁰Lu / T_{1/2} = 48 ч и 36 ч/, образующихся в качестве осколков деления. На основе определенной экспериментально интенсивности данной К_α-линии для каждой энергии бомбардирующих ионов с учетом тока ионов, химического выхода, а также временных факторов определялся относительный выход изотопов лютетия.

На рис. 4 показаны экспериментальные значения относительных выходов для четырех значений бомбарди-

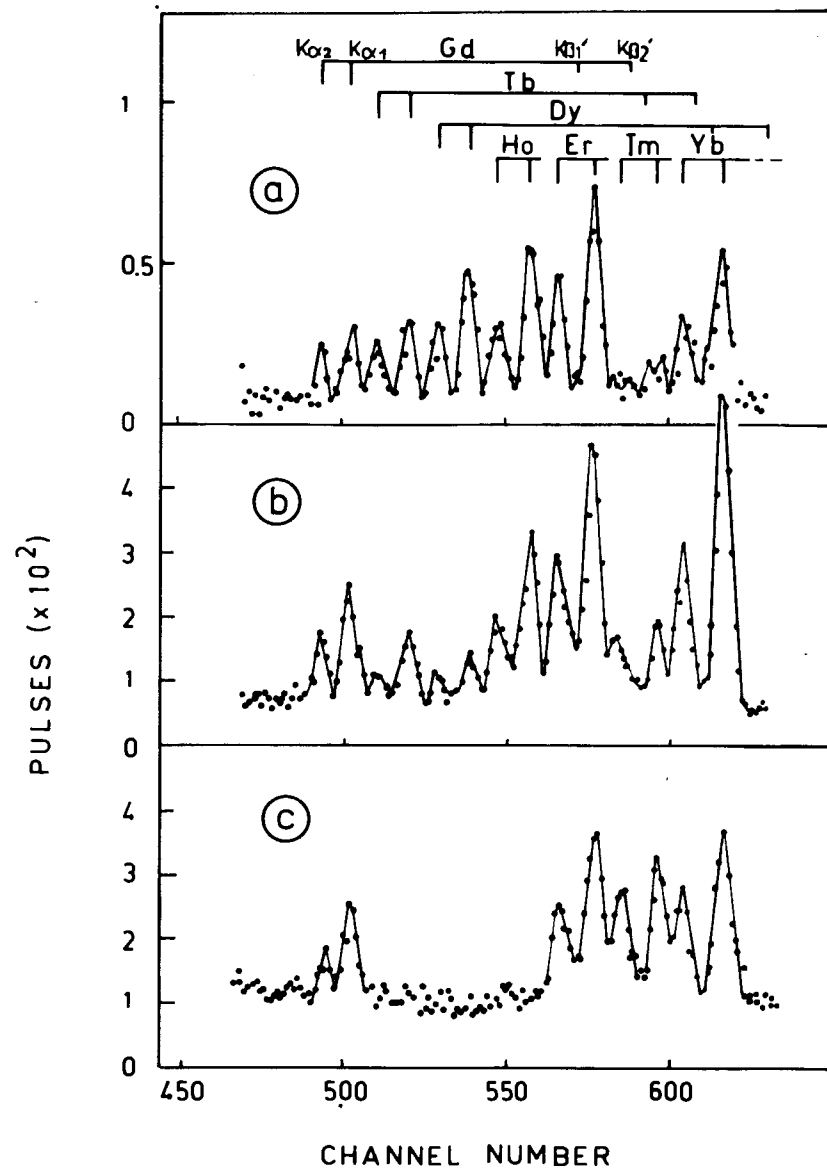


Рис. 3. Спектры КХ-лучей редкоземельных элементов с $Z > 64$, измеренные спустя: а/ 6 ч; б/ 18 ч и в/ 264 ч после облучения. Поглотитель: 0,2 мм Cu.

рующей энергии. Полученные экспериментальные значения сравнивались с расчетной кривой $\bar{\sigma} = f(E)$, вычисленной с учетом энергетического разброса пучка ионов ΔE по формуле

$$\bar{\sigma}(E) = \frac{\int_{E_0 - \Delta E_0}^{E_0 + \Delta E_0} \sigma(E) \exp - \left(\frac{E_0 - E}{\Delta E} \right)^2 dE}{\int_{E_0 - \Delta E_0}^{E_0 + \Delta E_0} \exp - \left(\frac{E_0 - E}{\Delta E} \right)^2 dE},$$

где

$$\sigma(E) = \pi r_{\text{эфф}}^2 (A_1^{1/3} + A_2^{1/3})^2 \left(1 - \frac{V_{\text{int}}}{E}\right).$$

Из рис. 4 видно, что экспериментальные точки, как для ^{206}Bi , так и для изотопов лютетия, в пределах погрешности эксперимента хорошо согласуются с теоретической кривой, рассчитанной для $r_{\text{эфф}} = 1,45 \pm 0,03$ ферми.

Необходимо заметить, что подобная методика определения функции возбуждения по характеристическим X-лучам элементов - осколков деления может быть использована для не очень широкого интервала энергий возбуждения $|\Delta E^*| < 50$ МэВ, т.к. в противном случае заметно меняется ширина изотопного распределения, а следовательно, и вклад в КХ-излучение от ядер, расположенных на "хвостах" изотопного распределения.

Таким образом, полученные значения барьера взаимодействия для реакции передачи и реакции полного слияния с последующим делением не различаются с точностью ± 5 МэВ в отличие от наблюдаемых ранее реакций с более тяжелыми ионами /8/. Кроме этого, абсолютное значение эффективного радиуса $r_{\text{эфф}}$ в пределах точности эксперимента согласуется с тем, что наблюдалось ранее для реакций с ионами ^{40}Ar , ^{50}Ti , ^{52}Cr .

В заключение авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флерову за внимание и ценные замечания в процессе выполнения данной работы. Авторы благодарны

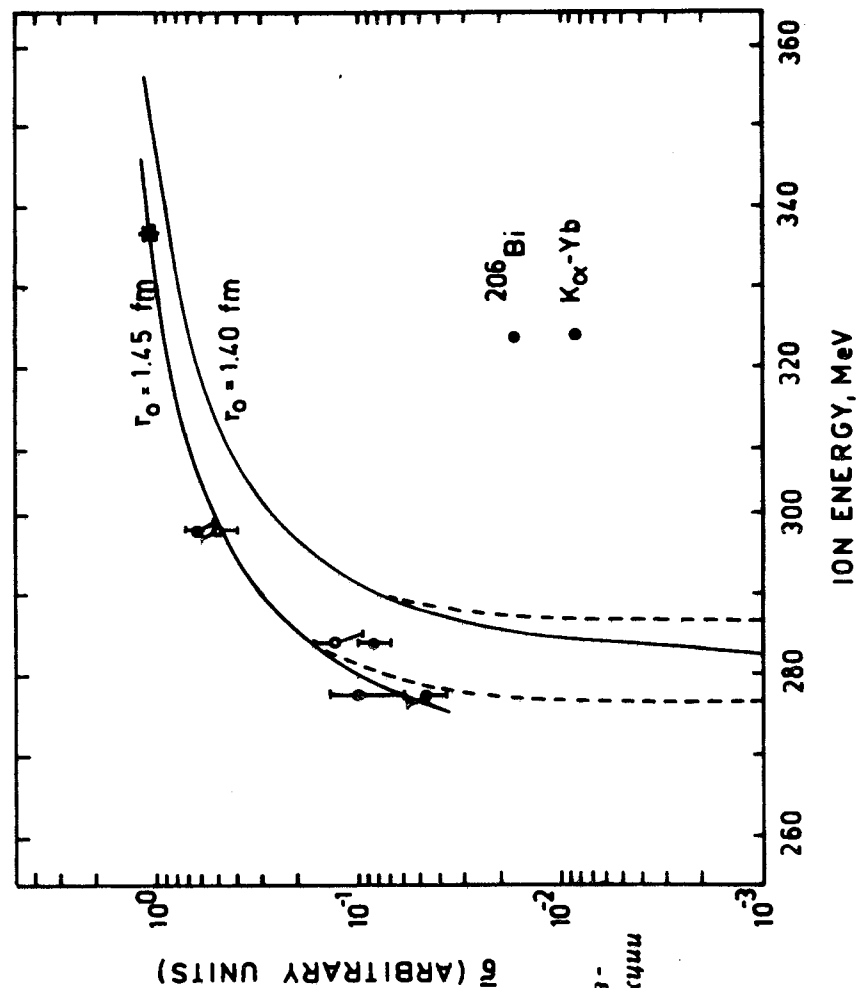


Рис. 4. Функции возбуждения для реакции $\text{Pb} + \text{Fe}$.
 Пунктирная кривая - расчет $\sigma(E) \sim (1 - V/E)$.
 Сплошная кривая - расчет с учетом энергетического разброса пучка.

также радиохимикам К.А.Гаврилову и Чой Вал Секу за радиохимическое выделение фракции редкоземельных элементов.

Литература

1. Ю.Ц.Оганесян, Ю.П.Третьяков, А.С.Ильинов и др. Препринт ОИЯИ, Д7-8099, Дубна, 1974.
2. С.У. Wong. *Phys.Lett.*, 42B, 186 (1972).
3. Н.Н. Gutbrod, W.G. Winn, M. Blann. *Nucl. Phys.*, A213, 267 (1973).
4. R. Bass. *Nucl. Phys.*, A231, 45 (1974).
5. J. Wilczynski, K. Siwek-Wilczynska. *Phys.Lett.*, 55B, 270 (1975).
6. Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич, К.А.Гаврилов, Ким Де Ен. *ЯФ*, 2, 239 (1975).
7. Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич. Препринт ОИЯИ, Е7-9123, Дубна, 1975.
8. Ю.Ц.Оганесян, Д.М.Надкарни, Нгуен Так Ань, Ю.Э.Пенионжкевич, Б.И.Пустыльник. Препринт ОИЯИ, Р7-7391, Дубна, 1973.
9. E. P. Steinberg, S. B. Kaufmann et al. *Nucl. Instr. and Meth.*, 99, 309 (1972).
10. Yu. Oganessian, Yu. Penionshkevitch. *Le Journal de Physique*, 31, 259 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 декабря 1975 года.