

С 343e

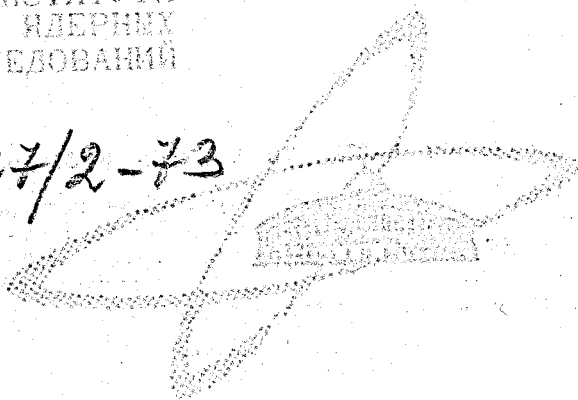
С-898

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

327/2-73

P15 - 6727



Г.Я.Сун-Цзин-Ян

СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗОТОПОВ $Po-Pa$
В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ С ИОНАМИ ^{31}P И ^{28}Si

1972

P15 - 6727

Г.Я.Сун-Цзин-Ян

СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗОТОПОВ Po-Pa
В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ С ИОНАМИ ^{31}P И ^{28}Si

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Сун-Цзин-Ян Г.Я.

P15 - 6727

Сечения образования изотопов $Po-Pa$ в ядерных реакциях с ионами ^{31}P и ^{28}Si

Исследовались ядерные реакции типа $(^{31}P, 4n)$ и $(^{31}P, 5n)$ на мишенях из ^{169}Tm , ^{186}W , ^{189}Os , ^{190}Os и ^{192}Os . Представлены зависимости сечений образования известных α -радиоактивных изотопов $^{195,196}Po$, $^{212,213}Ac$, ^{215}Th и ^{216}Pa от энергий бомбардирующих частиц.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1972

Sun Tsin Yan G.Ya.

P15 - 6727

Production Cross Sections of $Po-Pa$ ^{31}P and ^{28}Si
Ions

The nuclear reactions of the type $(^{31}P, 4n)$ and $(^{31}P, 5n)$ on the targets of ^{169}Tm , ^{186}W , ^{189}Os , ^{190}Os and ^{192}Os have been studied.

The dependences of the production cross sections of the known α -radioactive isotopes $^{195,196}Po$, $^{212,213}Ac$, ^{215}Th and ^{216}Pa on the bombarding particle energy are presented.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1972

При слиянии ускоренных тяжелых ионов с ядрами образуются сильно возбужденные вращающиеся составные ядра. Наличие большого углового момента определяет ряд особенностей распада таких ядер. В частности, отмечалось /1/, что барьер деления должен в значительной степени понижаться с ростом величины углового момента, вносимого тяжелым ионом в ядро. Это обстоятельство будет сказываться на конкуренции двух процессов - делении и испарении нейтронов из составного ядра, т.е. в конечном счете на величине Γ_n/Γ_f , характеризующей сечение образования продуктов испарительных ядерных реакций.

Задачей настоящей работы явилось изучение сечений образования некоторых изотопов в области полония - протактиния в ядерных реакциях, вызываемых ускоренными ионами фосфора и кремния. Область ядер с $84 \leq Z \leq 91$ занимает промежуточное положение между неделящимися и сильно делящимися ядрами, и эффект понижения барьера деления, связанный с угловым моментом, здесь должен проявляться достаточно четко. Исследовались ядерные реакции типа $(HI, 4n)$ и $(HI, 5n)$ на мишенях из разделенных изотопов осмия, туллия и вольфрама. Измерялся выход известных α -радиоактивных изотопов $^{195,196}\text{Po}$, $^{212,213}\text{Ac}$, ^{215}Th и ^{216}Pa .

Результаты эксперимента сопоставляются с данными, полученными с помощью сравнительно легких многозарядных ионов.

Методика эксперимента

Экспериментальная техника и методы, применявшиеся в этой работе, более подробно описаны ранее /2,3/. Как и прежде, работа проводилась на выведенном пучке 310-сантиметрового циклотрона, позволявшего получать достаточно интенсивные пучки ионов $^{31}\text{P}^{+5}$.

с энергией около 200 Мэв и $^{28}\text{Si}^{+5}$ с энергией 215 Мэв. Атомы отдачи, выбитые из мишени, тормозились в газе, который откачивался из камеры-мишени через аэрозольный фильтр. Держатель фильтров с помощью пневматического привода совершал возвратно-поступательное движение по заданному временному циклу. Два фильтра-сборника занимали, таким образом, поочередно позиции "накопление" и "измерение". Поверхностно-барьерные $\text{Si}(\text{Au})$ детекторы регистрировали α -частицы от распада продуктов ядерных реакций, уловленных фильтрами. Осуществлялся амплитудно-временной анализ импульсов, приходящих с детекторов. Это позволяло однозначно идентифицировать исследуемые изотопы по их известным свойствам α -распада.

Энергия ускоренных ионов фосфора и кремния изменялась с помощью алюминиевых поглотителей. Мишени из разделенных изотопов осмия, туллия и вольфрама, толщиной около 1 мг/см^2 наносились методом седиментации на алюминиевые подложки толщиной $\sim 6 \text{ мкм}$.

Экспериментальные результаты и обсуждение

В реакции полного слияния, согласно статистической модели, зависимость вероятности образования изотопа с данным массовым числом от энергии возбуждения составного ядра имеет характерный вид, близкий к распределению Гаусса ^{/4/}. Заряд, масса и энергия возбуждения составного ядра хорошо определены, поэтому положение максимума и ширина кривой возбуждения свидетельствуют о количестве испарившихся нейтронов, а, следовательно, и о массовом числе конечного продукта. Такая ситуация имеет место для неделящихся ядер. В нашем случае из-за высокого кулоновского барьера реакции и большой делимости составного ядра ($\Gamma_n/\Gamma_f < 1$) функции возбуждения могут быть значительно искажены.

В первом опыте мишень из туллия облучалась ионами фосфора. На рис. 1 даны функции возбуждения ^{195}Po , ^{196}Po . Барьер деления этих ядер сравнительно высокий /11,4 - 10,4 Мэв/^{/5/} и существенно превосходит энергию связи нейтронов. Испарение нейтронов происходит с большей вероятностью, чем процесс деления, и сечения образования конечных продуктов достигают 27 мбн; 3 мбн соответственно.

Энергетическая зависимость сечения реакций $^{186}\text{W}(\text{}^{31}\text{P}; 4n, 5n)$ $^{213,212}\text{Ac}$ показана на рис. 2. Барьер деления /7,8 - 6,9 Мэв/ ядер Ac сравним с энергиями связи нейтронов, и в этих ядрах конкуренция деления приводит к существенному уменьшению сечения реакции с испарением нейтронов.

На рис. 3 и 4 показаны зависимости сечений образования ядер ^{215}Th и ^{216}Pa , обладающих еще более низкими барьерами деления - 6,3 и 5,5 Мэв соответственно. Сечения реакций с испарением нейтронов становятся весьма малыми и для реакции $^{190}\text{Os}(p, 5n)$ ^{216}Pa составляют $\sim 3,5 \cdot 10^{-30}$ см².

Таким образом, в исследуемом нами диапазоне реакций с ростом делимости сечения реакций с испарением нейтронов уменьшаются в 10^4 раз.

Полученные результаты дают возможность выявить некоторые закономерности распада составных ядер, например, зависимость отношения вероятности испарения нейтронов к вероятности деления от Z^2/A .

Анализ экспериментального материала основан на том, что вероятность процесса, приводящего к образованию некоторого ядра-продукта из составного ядра путем испарения X -нейтронов, может быть определена из следующего соотношения: /4,6,7,8/.

$$\sigma_{xn} = \sigma_c(E) P_{xn}(E) \left(\frac{\Gamma_n}{\Gamma_n + \Gamma_f} \right)^x,$$

где σ_{xn} - сечение реакции (HI, xn); σ_c - сечение образования составного ядра; $P_{xn}(E)$ - вероятность испарения точно X -нейтронов, пронормированная следующим образом $\sum_{x=1}^{\infty} P_{xn}(E) = 1$; Γ_n - энергетическая ширина, соответствующая испарению нейтрона; Γ_f - делительная ширина.

Для оценки величины сечений образования составного ядра использовались расчетные данные В.В.Бабикова /9/. Соотношение

$$\Gamma_n/\Gamma_f \text{ рассчитывалось по формуле: } \overline{\Gamma_n/\Gamma_f} = \left(\frac{\Gamma_n}{\Gamma_n + \Gamma_f} \right) / \left(1 - \frac{\Gamma_n}{\Gamma_n + \Gamma_f} \right).$$

На рис. 5 показана зависимость отношения вероятности испарения нейтрона к вероятности деления от параметра делимости Z^2/A . На этом рисунке кроме наших данных представлены также результаты работ А.Гиорсо, Г.Сиборга и В.В.Волкова /10,11,12/. Все величины Γ_n/Γ_f рассчитаны для реакций типа ($HI, 5n$), что позволяет исключить зависимость Γ_n/Γ_f от энергии возбуждения. Из рисунка видно, что линии, соединяющие значения Γ_n/Γ_f для

разных изотопов, но образованных в реакциях с ионами одной и той же массы, имеют вид прямых наклонных линий. Для заданного Z^2/A значения Γ_n/Γ_f уменьшаются с увеличением массы бомбардирующей частицы, что подтверждает теоретические предсказания о существенном влиянии углового момента на величину Γ_n/Γ_f . Чем тяжелее бомбардирующая частица, тем больший угловой момент вносится в систему и тем меньше величина Γ_n/Γ_f , а, следовательно, и сечение образования ядра с данным параметром делимости Z^2/A .

В заключение автор выражает свою искреннюю благодарность академику Г.Н.Флерову за постоянную поддержку и интерес к работе. Автор благодарит В.А.Друина за руководство и полезные замечания, а также В.И.Крашонкина за помощь в проведении опытов.

Литература

1. Г.А.Пик-Пичак. ЖЭТФ 34, 341, 1958.
2. В.А.Друин, А.Г.Демин, Ю.П.Харитонов, Г.Н.Акапьев, В.И.Рудь, Г.Я.Сун-Цзин-Ян, Л.П.Челноков, К.А.Гаврилов. ЯФ, 313, 251, 1971.
3. Г.Я.Сун-Цзин-Ян, В.А.Друин, А.С.Трофимов. ЯФ 14, 1297, 1971.
4. J.D.Jackson. Can. J. Phys., 34, 767 (1956).
5. W.D.Myers, W.J.Swiatecki. Nucl. Phys. 81, 1 (1966).
6. T.Sikkeland, S.G.Thompson, A.Ghiorso. Phys.Rev., 112, 543 (1958).
7. Е.Д.Донец, В.А.Щеголев, В.А.Ермаков. ЯФ 2, 1015, 1965.
8. T.Sikkeland, J.Mally, D.F.Lebeck. Phys.Rev., 169, 1000 (1968).
9. В.В.Бабилов. Препринт ОИЯИ, Р-1351, Дубна, 1963.
10. T.Sikkeland, A.Ghiorso, M.J.Nurmia. Phys.Rev., 172, 1232 (1968).
11. Э.Хайд, И.Перлман, Г.Сиборг. Методы синтеза тяжелых ядер, М., 1968, стр. 44.
12. В.В.Волков, Л.И.Гусева, А.С.Пасюк, Н.И.Тарантин, К.В.Филипова. ЖЭТФ, 36, 762, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 сентября 1972 года.

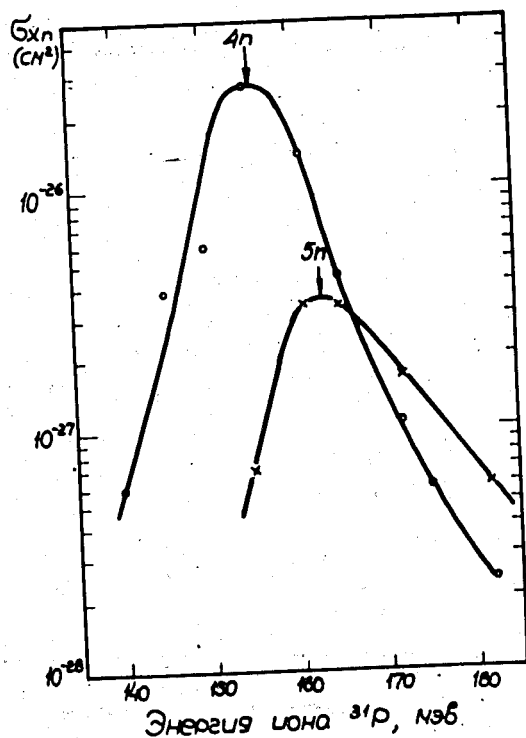


Рис. 1. Зависимость сечений реакций $^{169}\text{Tm}(^{31}\text{P}, xn)\text{Po}$ от энергии бомбардирующей частицы /лаб. система/. Статистические ошибки близки к размерам точек, изображающих экспериментальные результаты.

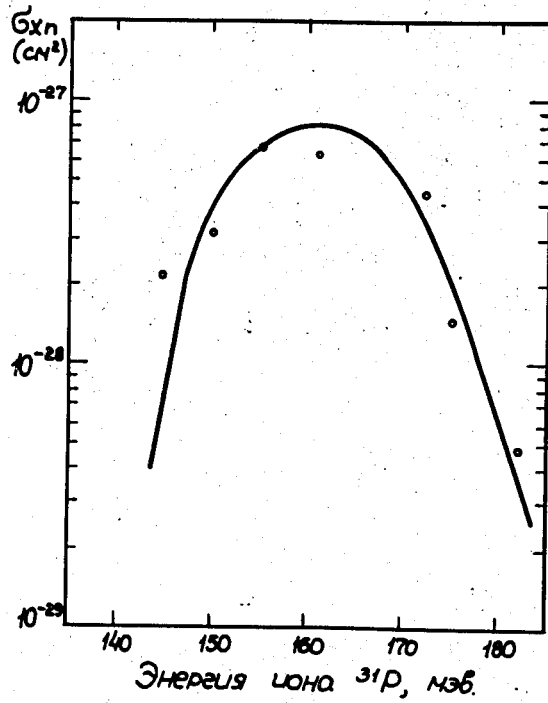


Рис. 2. Энергетическая зависимость сечений реакций $^{186}\text{W}(^{31}\text{P}; xn)\text{As}$.

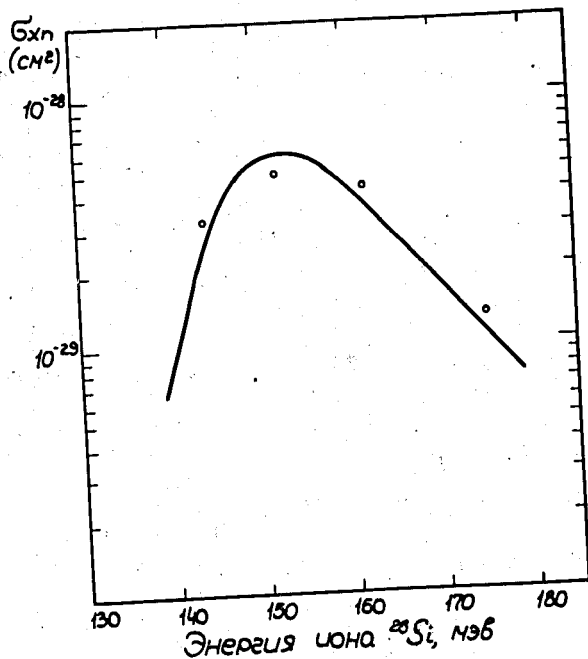


Рис. 3. Зависимость сечения реакции $^{192}\text{Os}(^{28}\text{Si}, 5n)^{215}\text{Th}$ от энергии бомбардирующей частицы /лаб. система/.

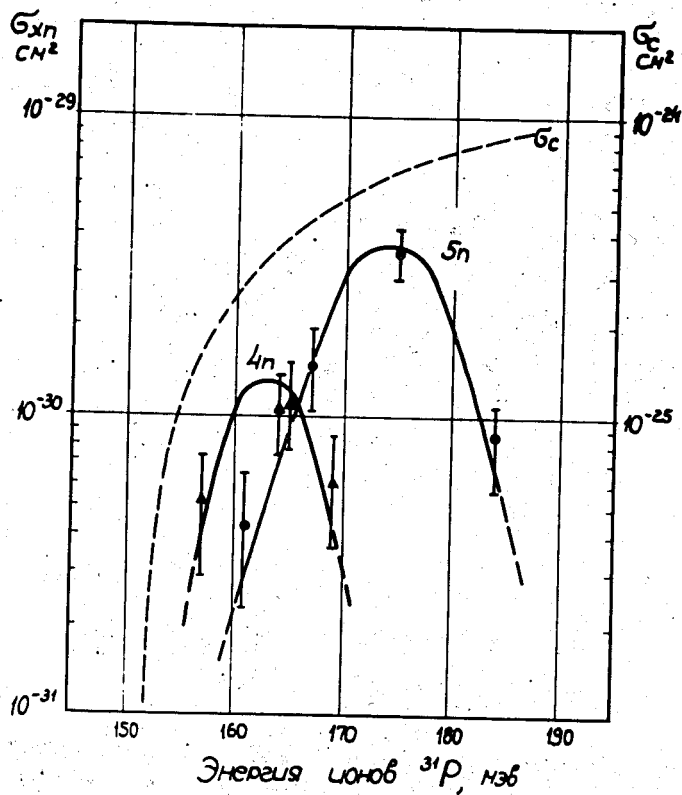


Рис. 4. Зависимость сечений реакций $^{189}\text{Os}(^{31}\text{P}, 4n)^{216}\text{Pa}$ и $^{190}\text{Os}(^{31}\text{P}, 5n)^{216}\text{Pa}$ от энергии бомбардирующей частицы /лаб. система/. Ошибки на кривых даны как статистические.

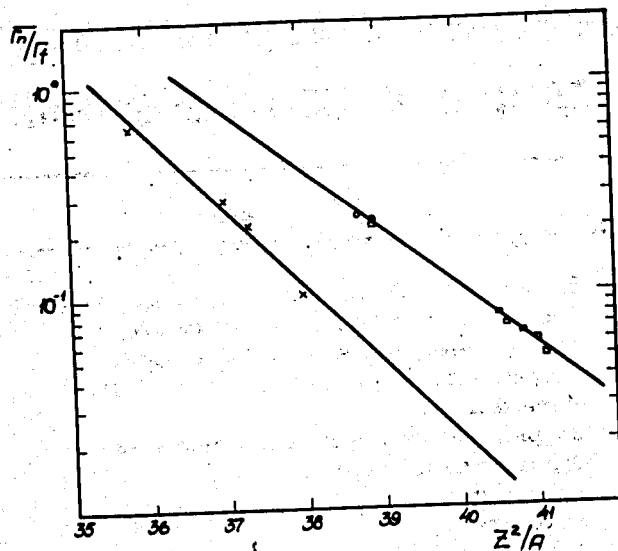


Рис. 5. Зависимость величин $\overline{(\Gamma_n/\Gamma_f)}$, найденных из реакций $(HI, 5n)$, от параметров делимости Z^2/A . Наши данные обозначены /x/, данные Волкова /o/ и Гюрсо /□/.