

P9-2011-117

А. В. Исаев<sup>1,2</sup>, А. А. Кузнецова<sup>1,3</sup>, А. В. Еремин<sup>1</sup>,  
Б. Н. Гикал<sup>1</sup>, В. Ю. Щеголев<sup>4</sup>

**РАСЧЕТ ВЫХОДОВ НЕЙТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ  
ПРИ РАБОТЕ ЦИКЛОТРОНА ДЦ-110**

---

<sup>1</sup>Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>2</sup>Учебно-научный центр, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>3</sup>Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Дубна, Россия

<sup>4</sup>Отдел радиационной безопасности, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Исаев А. В. и др.

P9-2011-117

Расчет выходов нейтронов и гамма-квантов  
при работе циклотрона ДЦ-110

В настоящее время для нужд нанотехнологий технико-внедренческой зоны г. Дубны в ЛЯР ОИЯИ разрабатывается проект циклотрона ДЦ-110. В рамках данного проекта выполнен анализ различных комбинаций «налетающий ион – ядро мишени» в широком диапазоне энергий пучка ионов с точки зрения дозиметрического контроля. В работе представлены расчеты выходов нейтронов и гамма-квантов, образующихся при работе ускорителя ионов ДЦ-110, а также сечения образования различных нуклидов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2011

Isaev A. V. et al.

P9-2011-117

Calculation of Neutron and Gamma-Quanta Yields  
from the DC-110 Cyclotron

At present the DC-110 cyclotron is being designed at the FLNR for the needs of the technology-innovative zone in Dubna. Within the framework of the project different «incident ion – target nucleus» combinations were analyzed over a wide range of ion energies for the dosimetric control purposes. In this paper neutron and  $\gamma$ -ray yields produced by the DC-110 ion accelerator as well as various nuclide cross-sections are presented.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Трековые мембраны — продукт высоких технологий, играют в современном мире все большую и большую роль. В ЛЯР ОИЯИ создается проект нового циклотронного комплекса для производства трековых мембран, включающий разработку и создание специализированного компактного циклотрона тяжелых ионов и всех инженерных систем, обеспечивающих полный цикл облучения полимерной пленки толщиной до 30 мкм.

В состав ускорительного комплекса входят: циклотрон ДЦ-110 (рис. 1); ECR-источник ионов с частотой 18 ГГц [1] и система аксиальной инжекции пучка; канал транспортировки ускоренного пучка, оснащенный установкой и

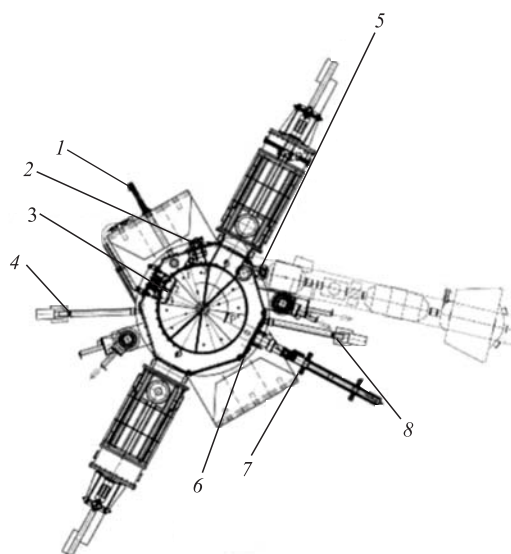


Рис. 1. Общая схема компоновки циклотрона: 1 — пробник № 1; 2 — магнитный канал; 3 — электростатический дефлектор; 4 — пробник № 2; 5 — профилометр и люминофор; 6 — узел подвода электрического питания и охлаждения корректирующих катушек; 7 — инфлектор; 8 — пробник № 3

технологическим оборудованием для облучения полимерной пленки; вакуумная система; система электропитания и управления; система охлаждения.

Циклотронный комплекс ДЦ-110 комплектуется одним каналом для транспортировки пучков ускоренных ионов. Элементы канала должны обеспечивать равномерное облучение тяжелыми ионами поверхности движущейся пленки шириной до 600 мм. Канал циклотрона ДЦ-110 комплектуется специализированной установкой, предназначенной для однородного облучения ионами полимерной пленки, перемещающейся в зоне облучения со скоростью от 0,05 до 1,0 м/с. Ширина и толщина пленок могут варьироваться в пределах от 200 до 600 мм и от 10 до 30 мкм соответственно.

В рамках данного проекта необходимо решить вопрос о количественной оценке радиационной обстановки во время облучения и последующей активации конструкционных материалов канала пучка и мишеней различными ускоряемыми ионами. В первом случае наибольшую опасность будут представлять нейтроны, испускаемые ядрами — продуктами реакций. Во втором случае, при проведении работ после облучения, необходимо иметь оценку интенсивности гамма-излучения, испускаемого достаточно долгоживущими изотопами, образованными в различных ядерных реакциях.

### **РЕАКЦИИ ПОЛНОГО СЛИЯНИЯ. РАСЧЕТ СЕЧЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ**

На первом этапе были произведены расчеты кулоновских барьеров ( $E_{lab}$ ) и барьеров слияния ( $E_{bass}$ ) для различных реакций полного слияния, которые могут протекать между бомбардирующими ионами, ускоряемыми циклотроном ДЦ-110, и ядрами мишеней, которыми являются конструкционные материалы ионопроводов, вакуумных камер, ускорительного оборудования (диафрагмы, цилиндры Фарадея и т. д.). В качестве мишеней выбирались широко используемые конструкционные материалы:  ${}^9\text{Be}_4$ ,  ${}^{12}\text{C}_6$ ,  ${}^{27}\text{Al}_{13}$ ,  ${}^{56}\text{Fe}_{26}$ ,  ${}^{60}\text{Ni}_{28}$ ,  ${}^{63}\text{Cu}_{29}$ . В расчетах использовались следующие ускоренные ионы:  ${}^1p_1$ ,  ${}^2d_1$ ,  ${}^{12}\text{C}_6$ ,  ${}^{20,22}\text{Ne}_{10}$ ,  ${}^{40}\text{Ar}_{18}$ ,  ${}^{84}\text{Kr}_{36}$ ,  ${}^{132}\text{Xe}_{54}$ .

Затем были произведены расчеты сечений образования ядер, продуктов реакций полного слияния (ядер-остатков испарения), для различных комбинаций «налетающий ион – ядро мишени».

Диапазон энергий пучка:  $E_{lab} = 0,3\text{--}3,5$  МэВ/нуклон.

Результаты расчетов представлены в таблице приложения 1 и для наглядности сгруппированы следующим образом:

1) реакции, для которых  $E_k < 1$  МэВ/нуклон, — это наиболее легкие комбинации (мишень Be). Для этой области возможно наличие большого числа каналов протекания реакций;

2) реакции, для которых  $1 < E_k < 2$  МэВ/нуклон;

3) реакции, для которых  $2 < E_k < 3,5$  МэВ/нуклон;

4) реакции, для которых  $E_k > 3,5$  МэВ/нуклон. В заданном диапазоне энергий реакции на ядрах мишеней будут протекать ниже кулоновского барьера, соответственно, сечения образования радиоактивных изотопов и выходы нейтронов из реакций будут существенно ниже, чем в случае, когда энергия налетающего иона выше барьера.

Расчет кулоновского барьера  $E_{lab}$  производился с использованием параметризации радиуса взаимодействия  $R_{int}$ , приведенного в [1].

Расчет барьера слияния  $E_{bass}$  производился по методике, описанной в работе [2]. В расчетах использовались таблицы масс из [3].

Для приведенных выше комбинаций «налетающий ион – ядро мишени» доминирующим каналом является процесс полного слияния. Поэтому продукты реакций полного слияния будут иметь значительно большие выходы, чем продукты реакций передач.

Были произведены расчеты сечений образования ядер-остатков испарений для всех возможных комбинаций «налетающий ион – ядро мишени» с помощью программы NRV Project [4]. В основу модуля, используемого в рас-

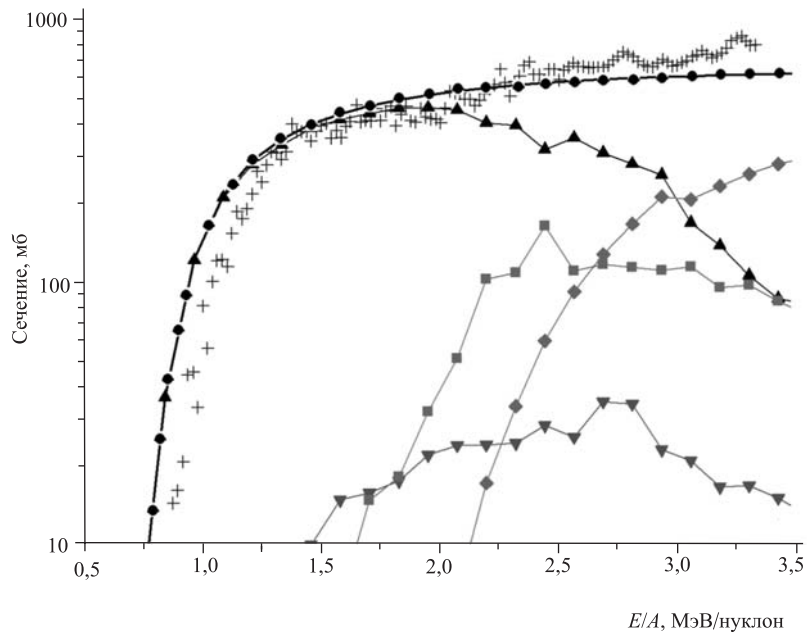


Рис. 2. Данные о реакции  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ , полученные при помощи программы NRV Project. Условные обозначения: ● — полное сечение реакции; + — экспериментально полученные данные о сечении [5]; ■ — сечение  $1\alpha$ -канала; ▲ — сечение  $1p$ -канала; ▼ — сечение  $1n$ -канала; ◇ — сечение  $1p1n$ -канала

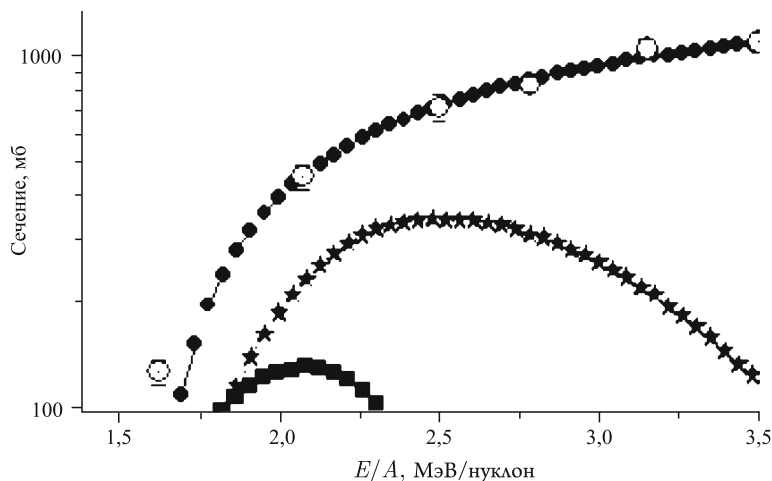


Рис. 3. Данные о реакции  $^{20}\text{Ne} + ^{27}\text{Al}$ , полученные при помощи программы NRV Project. Условные обозначения: ● — полное сечение реакции; ○ — экспериментально полученные данные о сечении [6]; ■ — сечение  $1p1n$ -канала; ★ — сечение  $2p1n$ -канала

четах, заложена макро-микроскопическая статистическая модель. Интерфейс программы удобен для пользователя, расчет сечений образования ядер — продуктов реакций полного слияния — достаточно прост, но требует аккуратного подхода.

Данные о сечениях представлены в таблицах приложения 2. Для имеющихся экспериментальных данных наблюдается довольно неплохая корреляция с модельными расчетами сечений (см., например, рис. 2, 3).

Анализ данных, проведенный на основании расчетов для реакций с ускоренными протонами, показывает, что в реакциях  $p + ^9\text{Be} \rightarrow ^{10}\text{B}^*$ ,  $p + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{28}\text{Si}^*$  и  $p + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{64}\text{Zn}^*$  могут образовываться только стабильные изотопы, нейтронный фон во время облучения отсутствует, так как основной канал реакции  $0n$ . Также следует обратить внимание, что только для реакции  $p + ^9\text{Be}$  кулоновский барьер составляет величину 1,731 МэВ, а для реакции  $p + ^{12}\text{C}$  — 2,371 МэВ. Для всех остальных реакций барьер находится значительно выше указанных энергетических диапазонов. Вследствие чего эти реакции рассматриваться не будут. Для реакций  $p + ^9\text{Be}$  и  $p + ^{12}\text{C}$  нейтронный фон во время облучения (даже при энергиях выше барьера) будет отсутствовать, наведенной активности также не будет, потому что будут образовываться стабильные или короткоживущие изотопы.

Для наиболее тяжелых ионов Kr и Xe в диапазонах энергий 0,3–3,0 МэВ/нуклон реакции  $^{84}\text{Kr} + ^{56}\text{Fe}$ ,  $^{84}\text{Kr} + ^{60}\text{Ni}$  и  $^{132}\text{Xe} + ^{27}\text{Al}$ ,  $^{132}\text{Xe} + ^{56}\text{Fe}$ ,

$^{132}\text{Xe} + ^{60}\text{Ni}$ ,  $^{132}\text{Xe} + ^{63}\text{Cu}$  протекают ниже *барьера слияния*, поэтому в дальнейшем рассмотрении они участвовать не будут.

Расчетные данные для сечений различных испарительных каналов в дальнейшем будут использоваться для расчета нейтронного фона во время облучения при взаимодействии ускоренных ионов с конструкционными материалами и в случае образования долгоживущих изотопов, испытывающих гамма-распад, для расчета наведенной гамма-активности через час после прекращения облучения.

Расчетные данные для ускоренных ионов  $d$  весьма приблизительные и сильно завышенные, потому что программа NRV Project в основном рассчитана на применение для реакций с более тяжелыми ионами. Тем не менее анализ данных для реакций с ионами дейтерия был проведен, наибольшие сечения получены для реакций  $d + ^9\text{Be}$  и  $d + ^{12}\text{C}$ . Для остальных, более тяжелых конструкционных материалов сечения примерно на два порядка ниже. Из этого следует вывод о том, что в реакциях с ионами дейтерия лучше не использовать в качестве конструкционных материалов Be и C.

## ОЦЕНКА ВЫХОДА НЕЙТРОНОВ

Были произведены расчеты выходов нейтронов из реакций полного слияния для различных комбинаций «налетающий ион – ядро мишени». В качестве мишеней выбирались широко используемые конструкционные материалы:  $^9\text{Be}_4$ ,  $^{12}\text{C}_6$ ,  $^{27}\text{Al}_{13}$ ,  $^{56}\text{Fe}_{26}$ ,  $^{60}\text{Ni}_{28}$ ,  $^{63}\text{Cu}_{29}$ .

В расчетах использовались следующие ускоренные ионы:  $^{12}\text{C}_6$ ,  $^{20,22}\text{Ne}_{10}$ ,  $^{40}\text{Ar}_{18}$ ,  $^{84}\text{Kr}_{36}$ ,  $^{132}\text{Xe}_{54}$ . Интенсивность пучков ускоренных частиц принималась равной 1 мкА/частиц ( $6,24 \cdot 10^{12}$  частиц в секунду). Толщина мишени (количество ядер конструкционного материала, которые могут вступить в реакцию с налетающим ионом) определялась из условия потери бомбардирующим ионом 5–10 МэВ (ширина функции возбуждения) в заданном материале.

Диапазон энергий пучка:  $E_{\text{lab}} = 0,3\text{--}3,5$  МэВ/нуклон.

Для определения выхода нейтронов и гамма-квантов необходимо было, основываясь на данных о сечениях протекания различных испарительных каналов, вычислить образующееся в них же число ядер для выделенного интервала по энергии. Далее, зная число образовавшихся гамма-радиоактивных ядер и их периоды полураспада, мы легко могли рассчитать поток гамма-квантов через некоторое время после остановки облучения мишени. В свою очередь, для каналов с испарением нейтронов, зная общее число образующихся ядер и умножив его на число нейтронов, вылетающих из ядра в процессе девозбуждения, можно было получить данные о потоках нейтронов.

Число образующихся в испарительном канале ядер (в секунду) вычисляли по формуле

$$N = \frac{\sigma I N_A l \rho}{A},$$

где  $\sigma$  — среднее сечение протекания реакции в выделенном энергетическом диапазоне;  $I$  — интенсивность пучка ионов;  $N_A$  — число Авогадро;  $l$  — толщина мишени;  $A$  — массовое число мишени;  $\rho$  — плотность.

Поскольку толщина мишени могла варьироваться в широком диапазоне, в качестве  $l$  выбирались пробеги ионов в выделенном диапазоне энергий пучка. Для вычисления пробегов ионов в материалах мишеней в заданном диапазоне энергий использовалась программа SRIM-2011 [7]. В диапазоне энергий от 0,3 до 3,5 МэВ/нуклон для различных материалов разброс в пробегах ионов занимал промежуток от 0,3 мкм (для наиболее тяжелых) до 9 мкм (для наиболее легких ионов).

Для реакций  $^{40}\text{Ar} + ^9\text{Be}$ ,  $^{40}\text{Ar} + ^{12}\text{C}$ ,  $^{40}\text{Ar} + ^{27}\text{Al}$  расчетные выходы нейтронов сравниваются с экспериментальными данными [8]. Видно хорошее согласие расчета с экспериментом, что позволяет сделать вывод о корректности выбора параметров, используемых в модельных расчетах. Экспериментальные результаты описывают выход нейтронов при бомбардировании толстой мишени ионами Ar с энергией 2,4 МэВ/нуклон. Выходы нейтронов составляют:  $2,4 \cdot 10^{-5}$ ,  $5,7 \cdot 10^{-6}$ ,  $1,4 \cdot 10^{-6}$  нейтронов/ион соответственно для мишеней Be, C, Al. После пересчета с учетом интенсивности пучка в 1 мкА/частиц ( $6,24 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$ ) имеем  $15 \cdot 10^7$ ,  $3,55 \cdot 10^7$ ,  $0,87 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$  соответственно для мишеней Be, C, Al. Из наших модельных расчетов получается:  $19,1 \cdot 10^7$ ,  $7,67 \cdot 10^7$ ,  $3,96 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$  соответственно для мишеней Be, C, Al. Необходимо отметить, что расчетные значения приведены для достаточно большого диапазона энергий (суммарно): 2–2,5 МэВ/нуклон, эксперимент проводился при фиксированной энергии 2,4 МэВ/нуклон. Если отбросить вклад каналов, протекающих при других энергиях, расхождение между расчетом и экспериментом будет в пределах фактора 2–3.

Приблизительно такая же картина наблюдается и для реакций под действием налетающих ионов углерода. Экспериментальные результаты были получены в работе [9]. Для реакций  $^{12}\text{C} + ^{27}\text{Al}$  и  $^{12}\text{C} + ^{60}\text{Ni}$  при энергии 3,5 МэВ/нуклон активности составили соответственно  $26,8 \cdot 10^7$  и  $6,24 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ . Расчетные значения для реакций  $^{12}\text{C} + ^{27}\text{Al}$  и  $^{12}\text{C} + ^{60}\text{Ni}$  в диапазоне энергий 3–3,5 МэВ/нуклон составили соответственно  $9 \cdot 10^7$  и  $9,04 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ . Таким образом, расчет совпадает с экспериментом лучше, чем фактор 3.

Отметим, что в реакциях под действием налетающих протонов не наблюдались нейтронные каналы распада, поэтому расчет выходов нейтронов для них не производился.

Результаты расчетов выходов нейтронов для различных реакций и диапазонов энергий пучка можно найти в соответствующих таблицах приложе-



ния 3. Так как в некоторых энергетических диапазонах несколько каналов реакций могут иметь сравнимые выходы, в таблицах указан суммарный поток, учитывающий вклады нескольких каналов.

Наибольший выход нейтронов в реакциях полного слияния с бомбардирующими ионами С предсказывается для легкой мишени: Ве ( $^{12}\text{C} + ^9\text{Be} \rightarrow ^{21}\text{Ne}^*$ ). Для остальных ускоренных ионов расчет показывает наибольший выход нейтронов также в реакциях с конструкционным материалом бериллий. Для тяжелых ионов реакции, создающие нейтронный фон, имеют место только при энергиях выше 2,5 МэВ/нуклон для Кг и выше 3 МэВ/нуклон для Хе. Для наиболее распространенного конструкционного материала — нержавеющей стали (Fe) в реакциях полного слияния с ускоренными ионами  $^{12}\text{C}$ ,  $^{20,22}\text{Ne}$ ,  $^{40}\text{Ar}$  (интенсивность пучка принималась равной 1 мкА/частиц,  $6,24 \cdot 10^{12} \text{ c}^{-1}$ ) прогнозируются следующие суммарные потоки нейтронов:

$$\begin{aligned}^{12}\text{C} &— 8,61 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1}, \\^{20}\text{Ne} &— 3,02 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1}, \\^{22}\text{Ne} &— 6,95 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1}, \\^{40}\text{Ar} &— 3,54 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1}.\end{aligned}$$

Более тяжелые конструкционные материалы типа Ni и Cu обнаруживают схожие результаты (в пределах фактора снижения потока нейтронов — 2). Более легкие материалы С и Al дают повышенный нейтронный фон, который можно найти в прилагаемых таблицах. Интенсивность нейтронного фона прямо пропорциональна интенсивности пучка бомбардирующих ионов.

## ОЦЕНКА ГАММА-ФОНА ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ

На этом этапе были произведены расчеты интенсивности гамма-фона от долгоживущих изотопов, образующихся в реакциях полного слияния при различных комбинациях «налетающий ион – ядро мишени» и испытывающих гамма-распад. В качестве мишеней выбирались широко используемые конструкционные материалы:  $^9\text{Be}_4$ ,  $^{12}\text{C}_6$ ,  $^{27}\text{Al}_{13}$ ,  $^{56}\text{Fe}_{26}$ ,  $^{60}\text{Ni}_{28}$ ,  $^{63}\text{Cu}_{29}$ .

В расчетах использовались следующие ускоренные ионы:  $^{12}\text{C}_6$ ,  $^{20,22}\text{Ne}_{10}$ ,  $^{40}\text{Ar}_{18}$ ,  $^{84}\text{Kr}_{36}$ ,  $^{132}\text{Xe}_{54}$ . Интенсивность пучков ускоренных частиц принималась равной 1 мкА/частиц ( $6,24 \cdot 10^{12} \text{ c}^{-1}$ ). Толщина мишени (количество ядер конструкционного материала, которые могут вступить в реакцию с налетающим ионом) определялась из условия потери бомбардирующим ионом 5–10 МэВ (ширина функции возбуждения в зависимости от типа мишени и налетающего иона) в заданном материале.

Время облучения выбиралось много большим периода полураспада, поэтому считалось, что количество изотопа находится в равновесии, т. е. за еди-

ницу времени нарабатывается такое же количество изотопа, что распадается. Это приближение дает несколько завышенные результаты для изотопов с большим периодом полураспада. Для оценки интенсивности гамма-излучения выбиралось время, равное 1 ч после завершения облучения.

Для определения выхода гамма-квантов необходимо было, основываясь на данных о сечениях протекания различных испарительных каналов, вычислить образующееся в них же число ядер для выделенного интервала по энергии. Далее с учетом числа образовавшихся гамма-радиоактивных ядер и их периодов полураспада рассчитывалась их активность через 1 ч после остановки облучения мишени.

Результаты расчетов выходов гамма-квантов для изотопов, образующихся в различных реакциях и для различных диапазонов энергий пучка, можно найти в соответствующих таблицах приложения 4.

Анализ данных, проведенный на основании расчетов, показывает, что наибольшая активация наблюдается для реакций  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C} + ^{56}\text{Fe}$  и  $^{12}\text{C} + ^{63}\text{Cu}$ . В реакции  $^{12}\text{C} + ^{60}\text{Ni}$  образуются только короткоживущие изотопы. Также наблюдается тенденция уменьшения наведенной активности с увеличением массы налетающего иона.

Для наиболее распространенного конструкционного материала — нержавеющей стали (Fe) для различных ионов получены максимальные значения активности:

$$^{12}\text{C} — 106 \text{ МБк},$$

$$^{20}\text{Ne} — 59 \text{ МБк},$$

$$^{22}\text{Ne} — 28,6 \text{ МБк},$$

$$^{40}\text{Ar} — 1,9 \text{ МБк}.$$

Приведенные активности указываются для следующих условий.

1. Интенсивность пучков ускоренных частиц принималась постоянной и равной 1 мкА/частиц ( $6,24 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$ ).

2. Указанные активности рассчитаны на временной интервал 1 ч после выключения пучка. При пересчете активности для других временных интервалов (после выключения пучка) необходимо учитывать периоды полураспада конкретных изотопов, образовавшихся во время облучения.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Кулоновские барьеры ( $E_{lab}$ ) и барьеры слияния ( $E_{bass}$ ) для различных комбинаций «налетающий ион – ядро мишени»**

Реакция	$E_{cm}$ , МэВ	$E_{lab}$ , МэВ	$E_{lab}$ , МэВ/нуклон	$E_{bass}$ , МэВ	$E_{bass}$ , МэВ/нуклон
$p + {}^9\text{Be}_4$	1,558	1,731	1,731		
$p + \text{C}$	2,188	2,371	2,371		
$p + \text{Al}$	3,9	4,044	4,044		
$p + {}^{56}\text{Fe}_{26}$	6,465	6,581	6,581		
$p + {}^{60}\text{Ni}_{28}$	6,836	6,95	6,95		
$p + {}^{63}\text{Cu}_{29}$	6,989	7,1	7,1		
$d + {}^9\text{Be}_4$	1,437	1,756	0,878	1,03	0,65
$d + \text{C}$	2,028	2,366	1,183	1,46	0,73
$d + \text{Al}$	3,662	3,933	1,966	2,69	1,345
$d + \text{Fe}$	6,134	6,353	3,177	4,72	2,36
$d + \text{Ni}$	6,493	6,709	3,354	5,03	2,515
$d + \text{Cu}$	6,642	6,853	3,426	5,41	2,705
$\text{C} + \text{Be}$	6,591	15,379	1,281	9,62	0,8
$\text{C} + \text{C}$	9,434	18,869	1,572	12,22	1,02
$\text{C} + \text{Al}$	17,695	25,56	2,13	17,73	1,48
$\text{C} + \text{Fe}$	30,611	37,171	3,097	27,50	2,29
$\text{C} + \text{Ni}$	32,493	38,992	3,249	29,05	2,42
$\text{C} + \text{Cu}$	33,198	39,423	3,285	29,64	2,47
${}^{20}\text{Ne}_{10} + \text{Be}$	10,011	31,259	1,612	21,19	1,06
${}^{20}\text{Ne}_{10} + \text{C}$	14,388	38,37	1,918	25,99	1,3
$\text{Ne} + \text{Al}$	27,299	47,521	2,376	34,15	1,7
$\text{Ne} + {}^{56}\text{Fe}_{26}$	47,704	64,741	3,237	49,27	2,46
$\text{Ne} + {}^{60}\text{Ni}_{28}$	50,684	67,578	3,378	51,75	2,59
$\text{Ne} + {}^{63}\text{Cu}_{29}$	51,99	68,495	3,424	52,60	2,63
${}^{22}\text{Ne}_{10} + \text{Be}$	9,831	33,865	1,539	22,26	1,01
$\text{Ne} + \text{C}$	14,141	40,067	1,821	27,14	1,23
$\text{Ne} + \text{Al}$	26,887	48,795	2,217	35,02	1,59
$\text{Ne} + \text{Fe}$	47,073	65,566	2,98	47,79	2,17

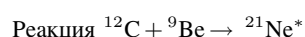
Окончание таблицы

Ne + Ni	50,023	68,364	3,107	52,23	2,37
Ne + Cu	51,319	69,24	3,147	53,03	2,41
Ar + Be	14,5006	78,947	1,973	59,64	1,49
Ar + C	20,9534	90,797	2,269	70,36	1,76
Ar + Al	40,145	97,495	2,437	81,48	2,04
Ar + Fe	71,5448	122,648	3,066	104,71	2,62
Ar + Ni	76,1132	126,855	3,171	108,88	2,72
Ar + Cu	78,1477	127,765	3,194	109,93	2,75
<sup>84</sup> Kr <sub>36</sub> + Be	24,6931	255,162	3,037	206,4	2,46
Kr + C	35,877	287,015	3,416	237,15	2,82
Kr + Al	70,2485	288,799	3,438	247,9	2,95
Kr + Fe	126,3561	315,89	3,76	282,27	3,36
Kr + Ni	134,6156	323,077	3,846	290,04	3,45
Kr + Cu	138,3526	322,822	3,843	290,37	3,46
<sup>132</sup> Xe <sub>54</sub> + Be	33,3618	522,667	3,959	439,4	3,32
Xe + C	48,6233	583,479	4,42	499,8	3,79
Xe + Al	96,0991	565,917	4,287	501,04	3,8
Xe + Fe	174,3985	585,48	4,435	537,34	4,07
Xe + Ni	185,9578	595,064	4,508	548,49	4,16
Xe + Cu	191,2362	591,921	4,484	546,51	4,14

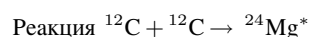
## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### РАСЧЕТЫ СЕЧЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗОТОПОВ В КАНАЛАХ С ИСПАРЕНИЕМ ЛЕГКИХ ЧАСТИЦ ДЛЯ РЕАКЦИЙ ПОЛНОГО СЛИЯНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ КОМБИНАЦИЯХ «НАЛЕТАЮЩИЙ ИОН – ЯДРО МИШЕНИ» (ВО ВСЕХ ТАБЛИЦАХ ПРИЛОЖЕНИЯ 2 УКАЗАНЫ ТОЛЬКО КАНАЛЫ С СЕЧЕНИЕМ ВЫШЕ 10 мб)

#### Реакции под действием налетающих ионов углерода



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	125	1p1n	F-19	Стабильный
	75	1α1n	O-16	Стабильный
	40	1n	Ne-20	Стабильный
	25	1p	F-20	$\beta^-$ , $\gamma$ (11 с)
2,5–3	200	1p1n	F-19	Стабильный
	175	1α1n	O-16	Стабильный
	45	1n	Ne-20	Стабильный
	30	1p	F-20	$\beta^-$ , $\gamma$ (11 с)
3–3,5	20	1α	O-17	Стабильный
	225	1p1n	F-19	Стабильный
	150	1α1n	O-16	Стабильный
	35	1n	Ne-20	Стабильный
	25	1p	F-20	$\beta^-$ , $\gamma$ (11 с)
	25	1α	O-17	Стабильный
3–3,5	35	1p2n	F-18	$\beta^+$ (109,7 мин)
	15	2n	Ne-19	$\beta^+$ , $\gamma$ (17,22 с)



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1	125	1p	Na-23	Стабильный
1–1,5	380	1p	Na-23	Стабильный
1,5–2	465	1p	Na-23	Стабильный
	20	1n	Mg-23	$\beta^+$ , $\gamma$ (11,3 с)
	35	1α	Ne-20	Стабильный
2–2,5	425	1p	Na-23	Стабильный
	25	1n	Mg-23	$\beta^+$ , $\gamma$ (11,3 с)
	165	1α	Ne-20	Стабильный
	65	1p1n	Na-22	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,603 лет)

Окончание таблицы

2,5-3	355	1p	Na-23	Стабильный
	35	1n	Mg-23	$\beta^+$ , $\gamma$ (11,3 с)
	110	1 $\alpha$	Ne-20	Стабильный
	205	1p1n	Na-22	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,603 лет)
3-3,5	185	1p	Na-23	Стабильный
	20	1n	Mg-23	$\beta^+$ , $\gamma$ (11,3 с)
	115	1 $\alpha$	Ne-20	Стабильный
	280	1p1n	Na-22	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,603 лет)

Реакция  $^{12}\text{C} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{39}\text{K}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3-1	—	—	—	—
1-1,5	50	1 $\alpha$ 1n	Cl-34	$\beta^+$ (1,53 с)
	60	1p1n	Ar-37	$\epsilon$ (35 сут)
	90	1 $\alpha$	Cl-35	Стабильный
1,5-2	225	1 $\alpha$ 1n	Cl-34	$\beta^+$ (1,53 с)
	160	1p1n	Ar-37	$\epsilon$ (35 сут)
	140	1 $\alpha$	Cl-35	Стабильный
	45	1 $\alpha$ 1p	S-34	Стабильный
	30	2p	Cl-37	Стабильный
2-2,5	325	1 $\alpha$ 1n	Cl-34	$\beta^+$ (1,53 с)
	100	1p1n	Ar-37	$\epsilon$ (35 сут)
	70	1 $\alpha$	Cl-35	Стабильный
	70	1 $\alpha$ 1p	S-34	Стабильный
	40	2p1n	Cl-36	$\beta^+$ ( $3 \cdot 10^5$ лет)
	35	2p	Cl-37	Стабильный
	10	2 $\alpha$	P-31	Стабильный
2,5-3	400	1 $\alpha$ 1n	Cl-34	$\beta^+$ (1,53 с)
	50	1 $\alpha$ 1p1n	S-33	Стабильный
	60	1p1n	Ar-37	$\epsilon$ (35 сут)
	30	1 $\alpha$	Cl-35	Стабильный
	60	1 $\alpha$ 1p	S-34	Стабильный
	60	2p1n	Cl-36	$\beta^+$ ( $3 \cdot 10^5$ лет)
	15	2p	Cl-37	Стабильный
3 - 3,5	200	1 $\alpha$ 1n	Cl-34	$\beta^+$ (1,53 с)
	200	1 $\alpha$ 1p1n	S-33	Стабильный
	20	1p1n	Ar-37	$\epsilon$ (35 сут)
	15	1 $\alpha$	Cl-35	Стабильный
	50	1 $\alpha$ 1p	S-34	Стабильный
	70	2p1n	Cl-36	$\beta^+$ ( $3 \cdot 10^5$ лет)
	30	2 $\alpha$	P-31	Стабильный

Реакция  $^{12}\text{C} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{68}\text{Ge}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	225	$1p1n$	Ga-66	$\beta^+$ , $\gamma$ (9,4 ч)
	55	$2p$	Zn-66	Стабильный
	15	$1p$	Ga-67	$\epsilon$ (78,3 ч)
2,5–3	400	$1p1n$	Ga-66	$\beta^+$ , $\gamma$ (9,4 ч)
	120	$2p$	Zn-66	Стабильный
	10	$2p1n$	Zn-65	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (244,3 сут)
	10	$1p$	Ga-67	$\epsilon$ (78,3 ч)
	25	$2n$	Ge-66	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (2,3 ч)
	35	$1\alpha 1p$	Cu-63	Стабильный
	20	$1\alpha 1n$	Zn-63	$\beta^+$ , $\gamma$ (38,1 мин)
3–3,5	325	$1p1n$	Ga-66	$\beta^+$ , $\gamma$ (9,4 ч)
	135	$2p$	Zn-66	Стабильный
	140	$2p1n$	—	—
	90	$1p2n$	Ga-65	$\beta^+$ , $\gamma$ (15 мин)
	20	$2n$	Ge-66	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (2,3 ч)
	80	$1\alpha 1p$	Cu-63	Стабильный
	35	$1\alpha 1n$	Zn-63	$\beta^+$ , $\gamma$ (38,1 мин)

Реакция  $^{12}\text{C} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{72}\text{Se}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	150	$1p1n$	As-70	$\beta^+$ , $\gamma$ (53 мин)
	20	$2n$	Se-70	$\beta^+$ , $\gamma$ (41,1 мин)
	20	$2p$	Ge-70	Стабильный
2,5–3	400	$1p1n$	As-70	$\beta^+$ , $\gamma$ (53 мин)
	50	$2n$	Se-70	$\beta^+$ , $\gamma$ (41,1 мин)
	60	$2p$	Ge-70	Стабильный
	20	$1\alpha 1n$	Ge-67	$\beta^+$ , $\gamma$ (18,7 мин)
	20	$1\alpha 1p$	Ga-67	$\epsilon$ (78,3 ч)
3–3,5	350	$1p1n$	As-70	$\beta^+$ , $\gamma$ (53 мин)
	160	$2p1n$	Ge-68	$\epsilon$ (270,82 сут)
	90	$1p2n$	As-69	$\beta^+$ , $\gamma$ (15,1 мин)
	45	$2n$	Se-70	$\beta^+$ , $\gamma$ (41,1 мин)
	70	$2p$	Ge-70	Стабильный
	30	$1\alpha 1n$	Ge-67	$\beta^+$ , $\gamma$ (18,7 мин)
	40	$1\alpha 1p$	Ga-67	$\epsilon$ (78,3 ч)

Анализ реакции  $^{12}\text{C} + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{75}\text{Br}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	125	$1p1n$	Se-73	$\beta^+$ , $\gamma$ (7,1 ч)
	30	$2p$	As-73	$\epsilon$ (80,3 сут)
2,5–3	450	$1p1n$	Se-73	$\beta^+$ , $\gamma$ (7,1 ч)
	60	$2p$	As-73	$\epsilon$ (80,3 сут)
	20	$2n$	Br-73	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,3 мин)
	15	$1\alpha 1p$	Ge-70	Стабильный
3–3,5	510	$1p1n$	Se-73	$\beta^+$ , $\gamma$ (7,1 ч)
	35	$2p$	As-73	$\epsilon$ (80,3 сут)
	120	$2p1n$	As-72	$\beta^+$ , $\gamma$ (26 ч)
	95	$1p2n$	Se-72	$\epsilon$ (8,5 сут)
	25	$2n$	Br-73	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,3 мин)
	25	$1\alpha 1p$	Ge-70	Стабильный
	20	$1\alpha 1n$	As-70	$\beta^+$ , $\gamma$ (53 мин)

Реакции под действием налетающих ионов неона

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^9\text{Be} \rightarrow ^{29}\text{Si}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1	60	$1p1n$	Al-27	Стабильный
1–1,5	10	$2n$	Si-27	$\beta^+$ (4,16 с)
	15	$1p$	Al-28	$\beta^-$ (2,24 мин)
	20	$1n$	Al-28	Стабильный
	25	$1\alpha 1n$	Mg-26	Стабильный
	440	$1p1n$	Al-27	Стабильный
1,5 - 2	10	$1n$	Al-28	Стабильный
	15	$2n$	Si-27	$\beta^+$ (4,16 с)
	15	$1p$	Al-28	$\beta^-$ (2,24 мин)
	15	$1\alpha 1p$	Na-26	$\beta^-$ , $\gamma$ (1,08 с)
	50	$1p2n$	Al-26	$\beta^+$ , $\gamma$ (6,35 с)
	65	$1\alpha 1n$	Mg-26	Стабильный
	585	$1p1n$	Al-27	Стабильный
2–2,5	10	$2n$	Si-27	$\beta^+$ (4,16 с)
	40	$1\alpha 1p$	Na-26	$\beta^-$ , $\gamma$ (1,08 с)
	160	$1\alpha 1n$	Mg-26	Стабильный
	190	$1p2n$	Al-26	$\beta^+$ , $\gamma$ (6,35 с)
	450	$1p1n$	Mg-26	Стабильный



Окончание таблицы

2,5–3	15	$1\alpha$	Mg-27	$\beta^-$ , $\gamma$ (9,46 мин)
	15	$1\alpha 1p 1n$	Na-25	$\beta^-$ , $\gamma$ (59,10 с)
	20	$2p 1n$	Mg-26	Стабильный
	75	$1\alpha 1p$	Na-26	$\beta^-$ , $\gamma$ (1,08 с)
	225	$1\alpha 1n$	Mg-26	Стабильный
	260	$1p 1n$	Al-27	Стабильный
	305	$1p 2n$	Al-26	$\beta^+$ , $\gamma$ (6,35 с)
3–3,5	15	$1\alpha$	Mg-27	$\beta^-$ , $\gamma$ (9,46 мин)
	30	$2p 1n$	Mg-26	Стабильный
	60	$1\alpha 1p 1n$	Na-25	$\beta^-$ , $\gamma$ (59,10 с)
	75	$1\alpha 1p$	Na-26	$\beta^-$ , $\gamma$ (1,08 с)
	150	$1p 1n$	Al-27	Стабильный
	190	$1\alpha 1n$	Mg-26	Стабильный
	330	$1p 2n$	Al-26	$\beta^+$ , $\gamma$ (6,35 с)

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{32}\text{S}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1	—	—	—	—
1–1,5	215	$1p 1n$	P-30	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,5 мин)
	115	$1\alpha$	Si-28	Стабильный
	40	$1p$	P-31	Стабильный
	30	$2p$	Si-30	Стабильный
1,5–2	375	$1p 1n$	P-30	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,5 мин)
	140	$1\alpha$	Si-28	Стабильный
	50	$1p$	P-31	Стабильный
	60	$2p$	Si-30	Стабильный
	95	$1\alpha 1p$	Al-27	Стабильный
2–2,5	410	$1p 1n$	P-30	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,5 мин)
	160	$1\alpha$	Si-28	Стабильный
	30	$1p$	P-31	Стабильный
	70	$2p$	Si-30	Стабильный
	195	$1\alpha 1p$	Al-27	Стабильный
	55	$2p 1n$	Si-29	Стабильный
2,5–3	300	$1p 1n$	P-30	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,5 мин)
	175	$1\alpha$	Si-28	Стабильный
	20	$1p$	P-31	Стабильный
	60	$2p$	Si-30	Стабильный
	230	$1\alpha 1p$	Al-27	Стабильный
	150	$2p 1n$	Si-29	Стабильный
	30	$2\alpha$	Mg-24	Стабильный

Окончание таблицы

3–3,5	165	1p1n	P-30	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,5 мин)
	135	1 $\alpha$	Si-28	Стабильный
	40	2p	Si-30	Стабильный
	215	1 $\alpha$ 1p	Al-27	Стабильный
	220	2p1n	Si-29	Стабильный
	70	2 $\alpha$	Mg-24	Стабильный
	30	1 $\alpha$ 1p1n	Al-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (2,246 мин)

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{47}\text{V}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1,5	—	—	—	—
1,5–2	50	2p	Sr-45	Стабильный
	125	1p1n	Ti-45	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,08 ч)
	185	2p1n	Sr-44	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,97 ч)
2–2,5	10	1 $\alpha$ 1p	K-43	$\beta^-$ , $\gamma$ (22,30 ч)
	20	1 $\alpha$ 1p1n	Ca-43	Стабильный
	25	2p	Sr-45	Стабильный
	35	1p2n	Ti-44	$\gamma$ (60 лет)
	55	1p1n	Ti-45	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,08 ч)
2,5–3	15	3p	Ca-44	Стабильный
	15	1p1n	Ti-45	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,08 ч)
	25	2p2n	Sc-43	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,89 ч)
	30	1 $\alpha$ 1p1n	Ca-43	Стабильный
	35	3p1n	Ca-43	Стабильный
	40	1p2n	Ti-44	$\gamma$ (60 лет)
	255	2p1n	Sr-44	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,97 ч)
3–3,5	20	1 $\alpha$ 2p1n	K-42	$\beta^-$ , $\gamma$ (12,36 ч)
	20	1 $\alpha$ 1p1n	Ca-43	Стабильный
	25	1p2n	Ti-44	$\gamma$ (60 лет)
	80	2p2n	Sc-43	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,89 ч)
	95	3p1n	Ca-43	Стабильный
	115	2p1n	Sr-44	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,97 ч)

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{76}\text{Kr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	35	2p	Se-74	Стабильный
	40	2p1n	Se-73	$\beta^+$ , $\gamma$ (7,15 ч)
	60	1p1n	Br-74	$\beta^+$ , $\gamma$ (25,4 мин)

Окончание таблицы

2,5–3	10	$1\alpha 2p$	Ge-72	Стабильный
	15	$1\alpha 1p 1n$	As-72	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,08 сут)
	20	$3p$	As-73	$\gamma$ (80,3 сут)
	20	$2p$	Se-74	Стабильный
	25	$1p 2n$	Br-72	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,4 мин)
	120	$1p 1n$	Br-74	$\beta^+$ , $\gamma$ (25,4 мин)
	310	$2p 1n$	Se-73	$\beta^+$ , $\gamma$ (7,15 ч)
3–3,5	10	$3p$	As-73	$\gamma$ (80,3 сут)
	15	$2n$	Kr-74	$\beta^+$ , $\gamma$ (11,5 мин)
	20	$1\alpha 2p 1n$	Ge-71	$\gamma$ (11,43 сут)
	20	$1\alpha 2p$	Ge-72	Стабильный
	30	$1\alpha 1p 1n$	As-72	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,08 сут)
	35	$1p 2n$	Br-72	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,4 мин)
	40	$3p 1n$	As-72	$\beta^+$ , $\gamma$ (11,43 сут)
	50	$2p 2n$	Se-72	$\gamma$ (8,4 сут)
	100	$1p 1n$	Br-74	$\beta^+$ , $\gamma$ (25,4 мин)

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{83}\text{Sr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	15	$1\alpha 1p$	Br-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,38 сут)
	20	$3p$	Br-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,38 сут)
	60	$2p$	Kr-78	$\beta^+$ ( $1 \cdot 10^{17}$ лет)
	85	$1p 1n$	Rb-78	$\beta^+$ , $\gamma$ (17,66 мин)
	105	$2p 1n$	Kr-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,24 ч)
2,5–3	15	$1\alpha 1p$	Br-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,38 сут)
	15	$1\alpha 2p$	Se-76	Стабильный
	15	$3p 1n$	Br-76	$\beta^+$ , $\gamma$ (16,20 ч)
	20	$2p$	Kr-78	$\beta^+$ ( $1 \cdot 10^{17}$ лет)
	30	$1\alpha 1p 1n$	Br-76	$\beta^+$ , $\gamma$ (16,20 ч)
	40	$1\alpha 1n$	Kr-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,24 ч)
	50	$3p$	Br-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,38 сут)
	70	$1p 2n$	Rb-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,77 мин)
	160	$1p 1n$	Rb-78	$\beta^+$ , $\gamma$ (17,66 мин)
255	$2p 1n$	Kr-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,24 ч)	
3–3,5	15	$1\alpha 2p$	Se-76	Стабильный
	15	$1\alpha 2p 1n$	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	20	$3p$	Br-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,38 сут)
	30	$1\alpha 1n$	Kr-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,24 ч)

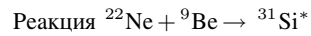
Окончание таблицы

	55	1p1n	Rb-78	$\beta^+$ , $\gamma$ (17,66 мин)
	95	3p1n	Br-76	$\beta^+$ , $\gamma$ (16,20 ч)
	115	2p2n	Kr-76	$\gamma$ (14,8 ч)
	130	1 $\alpha$ 1p1n	Br-76	$\beta^+$ , $\gamma$ (16,20 ч)
	155	1p2n	Rb-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,77 мин)
	155	2p1n	Kr-77	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,24 ч)
	180	1n	Sr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,25 мин)

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{83}\text{Y}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	20	1p1n	Sr-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,3 мин)
	30	2p1n	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)
2,5–3	15	2n	Y-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,17 мин)
	15	1 $\alpha$ 1n	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)
	20	1 $\alpha$ 1p	Kr-80	Стабильный
	20	3p	Kr-80	Стабильный
	30	1 $\alpha$ 1p1n	Kr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,46 сут)
	35	1p1n	Sr-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,3 мин)
	40	3n	Y-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (30,1 с)
	50	1p2n	Sr-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,77 ч)
	210	2p1n	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)
	3–3,5	10	1 $\alpha$ 2n	Rb-78
10		1 $\alpha$ 1n	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)
15		2n	Y-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,17 мин)
15		2p	Rb-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,58 ч)
20		1 $\alpha$ 2p	Kr-80	Стабильный
20		1p1n	Sr-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,3 мин)
30		1 $\alpha$ 1n	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)
40		3p1n	Kr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,46 сут)
50		2p2n	Rb-78	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,9 мин)
60		3p	Kr-80	Стабильный
65		1 $\alpha$ 1p1n	Kr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,46 сут)
75		1p2n	Sr-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,77 ч)
85		3n	Y-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (30,1 с)
220		2p1n	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)

Реакции под действием налетающих ионов неона-22



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1	50	$1p1n$	Al-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (6,56 мин)
	55	$2n$	Si-29	Стабильный
1–1,5	10	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (20,91 ч)
	15	$1p$	Al-30	$\beta^-$ , $\gamma$ (3,6 с)
	75	$3n$	Si-28	Стабильный
	95	$1p2n$	Al-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (2,76 мин)
	200	$1p1n$	Al-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (6,56 мин)
	210	$2n$	Si-29	Стабильный
1,5–2	10	$1p$	Al-30	$\beta^-$ , $\gamma$ (3,6 с)
	20	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (20,91 ч)
	170	$1p1n$	Al-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (6,56 мин)
	175	$3n$	Si-28	Стабильный
	255	$2n$	Si-29	Стабильный
	260	$1p2n$	Al-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (2,76 мин)
2–2,5	10	$1\alpha 1p$	Mg-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (1,3 с)
	35	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (20,91 ч)
	120	$1p1n$	Al-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (6,56 мин)
	190	$1p1n$	Al-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (6,56 мин)
	270	$2n$	Si-29	Стабильный
	385	$3n$	Si-28	Стабильный
2,5–3	20	$1\alpha 1p$	Mg-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (1,3 с)
	25	$1\alpha 2n$	Mg-27	$\beta^-$ , $\gamma$ (9,46 мин)
	40	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (20,91 ч)
	80	$1p1n$	Al-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (6,56 мин)
	155	$2n$	Si-29	Стабильный
	190	$3n$	Si-28	Стабильный
	426	$1p2n$	Al-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (2,76 мин)
3–3,5	20	$1\alpha 1p1n$	Na-27	$\gamma$ (301 мкс)
	25	$1\alpha 1p$	Mg-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (1,3 с)
	35	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (20,91 ч)
	40	$1\alpha 2n$	Mg-27	$\beta^-$ , $\gamma$ (9,46 мин)
	40	$1p1n$	Al-29	$\beta^-$ , $\gamma$ (6,56 мин)
	55	$1p3n$	Al-27	Стабильный
	75	$2n$	Si-29	Стабильный
	230	$3n$	Si-28	Стабильный
400	$1p2n$	Al-28	$\beta^-$ , $\gamma$ (2,76 мин)	

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{34}\text{S}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1	—	—	—	—
1–1,5	15	$1p1n$	P-32	$\beta^-$ (14,26 сут)
	45	$1p2n$	P-31	Стабильный
	50	$1\alpha 1n$	Si-31	$\beta^-, \gamma$ (2,62 ч)
	230	$1\alpha$	Si-32	$\beta^-$ (172 г)
1,5–2	15	$1p1n$	P-32	$\beta^-$ (14,26 сут)
	60	$1\alpha 2n$	Si-30	Стабильный
	80	$1\alpha 1n$	Si-31	$\beta^-, \gamma$ (2,62 ч)
	150	$1p2n$	P-31	Стабильный
	455	$1\alpha$	Si-32	$\beta^-$ (172 г)
2–2,5	10	$1p1n$	P-32	$\beta^-$ (14,26 сут)
	25	$1p$	P-33	$\beta^-$ (25,34 сут)
	60	$2n$	S-32	Стабильный
	205	$1\alpha 2n$	Si-30	Стабильный
	280	$1p2n$	P-31	Стабильный
	360	$1\alpha$	Si-32	$\beta^-$ (172 г)
2,5–3	15	$1\alpha 1p1n$	Al-30	$\beta^-, \gamma$ (3,6 с)
	25	$1p$	P-33	$\beta^-$ (25,34 сут)
	30	$1\alpha 1n$	Si-31	$\beta^-, \gamma$ (2,62 ч)
	45	$2p1n$	Si-31	$\beta^-, \gamma$ (2,62 ч)
	165	$1\alpha$	Si-32	$\beta^-$ (172 г)
	280	$1p2n$	P-31	Стабильный
	325	$1\alpha 2n$	Si-30	Стабильный
3–3,5	10	$1p$	P-33	$\beta^-$ (25,34 сут)
	15	$1\alpha 1n$	Si-31	$\beta^-, \gamma$ (2,62 ч)
	25	$1\alpha 1p1n$	Al-30	$\beta^-, \gamma$ (3,6 с)
	30	$1p3n$	P-30	$\beta^-, \gamma$ (2,5 мин)
	70	$1\alpha$	Si-32	$\beta^-$ (172 г)
	100	$2p1n$	Si-31	$\beta^-, \gamma$ (2,62 ч)
	180	$1p2n$	P-31	Стабильный
	330	$1\alpha 2n$	Si-30	Стабильный

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{49}\text{V}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1	—	—	—	—
1–1,5	10	$2n$	V-47	$\beta^+, \gamma$ (32,6 мин)
	10	$1n$	V-48	$\beta^+, \gamma$ (15,97 сут)
	20	$2p$	Sc-47	$\beta^-, \gamma$ (3,35 сут)

Окончание таблицы

1,5-2	30	2p1n	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	50	1p	Ti-48	Стабильный
	55	1 $\alpha$ 1n	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	75	2n	V-47	$\beta^+$ , $\gamma$ (32,6 мин)
	315	2p	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (3,35 сут)
2-2,5	10	1p3n	Ti-45	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,08 ч)
	15	1n	V-48	$\beta^+$ , $\gamma$ (15,97 сут)
	20	1p	Ti-48	Стабильный
	25	2p2n	Sc-45	$\gamma$ ( $6,34 \cdot 10^9$ лет)
	30	2n	V-47	$\beta^+$ , $\gamma$ (32,6 мин)
	30	2 $\alpha$ 2n	K-43	$\beta^-$ , $\gamma$ (22,3 ч)
	45	2p1n	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	65	1 $\alpha$ 1n	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
2,5-3	335	2p	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (3,35 сут)
	10	1n	V-48	$\beta^+$ , $\gamma$ (15,97 сут)
	30	2p1n	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	35	1 $\alpha$ 1n	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	90	2p2n	Sc-45	$\gamma$ ( $6,34 \cdot 10^9$ лет)
	110	2 $\alpha$ 2n	K-43	$\beta^-$ , $\gamma$ (22,3 ч)
3-3,5	165	2p	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (3,35 сут)
	10	2p1n	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	15	1 $\alpha$ 1n	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	20	1 $\alpha$ 2n	Sc-45	$\gamma$ ( $6,34 \cdot 10^9$ лет)
	35	1 $\alpha$ 1p1n	Ca-45	$\beta^-$ , $\gamma$ (162,61 сут)
	60	2p	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (3,35 сут)
	120	2p2n	Sc-45	$\gamma$ ( $6,34 \cdot 10^9$ лет)
130	2 $\alpha$ 2n	K-43	$\beta^-$ , $\gamma$ (22,3 ч)	

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{78}\text{Kr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3-2	—	—	—	—
2-2,5	10	2p	Se-76	Стабильный
	15	3n	Kr-75	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,29 мин)
	15	1 $\alpha$ 1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	30	2n	Kr-76	$\gamma$ (14,8 ч)
	50	1p1n	Br-76	$\beta^+$ , $\gamma$ (16,2 ч)
	90	2p1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	135	1p2n	Br-75	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,61 ч)
2,5-3	10	2 $\alpha$ 1n	Ge-73	Стабильный
	20	1 $\alpha$ 2n	Se-74	Стабильный
	20	1p3n	Br-74	$\beta^+$ , $\gamma$ (25,4 мин)

Окончание таблицы

	25	$1\alpha 1p2n$	As-73	$\gamma$ (80,3 сут)
	35	$1p1n$	Br-76	$\beta^+$ , $\gamma$ (16,2 ч)
	50	$1\alpha 1n$	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	60	$2n$	Kr-76	$\gamma$ (14,8 ч)
	70	$2p2n$	Se-74	Стабильный
	90	$3n$	Kr-75	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,29 мин)
	155	$2p1n$	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
3–3,5	160	$1p2n$	Br-75	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,61 ч)
	10	$1\alpha 1n$	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	15	$3p1n$	As-74	$\beta^+$ , $\beta^-$ , $\gamma$ (17,77 сут)
	30	$1\alpha 2n$	Se-74	Стабильный
	30	$1\alpha 1p2n$	As-73	$\gamma$ (80,3 сут)
	55	$1p2n$	Br-75	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,61 ч)
	70	$2p1n$	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	80	$3n$	Kr-75	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,29 мин)
	125	$1p3n$	Br-74	$\beta^+$ , $\gamma$ (25,4 мин)
150	$2p2n$	Se-74	Стабильный	

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{82}\text{Sr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	15	$1\alpha 1n$	Kr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,46 сут)
	55	$1p1n$	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)
	70	$1p2n$	Rb-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,9 мин)
	75	$2p1n$	Kr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,46 сут)
2,5–3	15	$1\alpha 1p$	Br-79	Стабильный
	20	$2n$	Sr-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,77 ч)
	20	$3n$	Sr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,25 мин)
	20	$2p$	Kr-80	Стабильный
	25	$1\alpha 2n$	Kr-78	$2\beta^+$ ( $1 \cdot 10^{17}$ лет)
	45	$1\alpha 1p1n$	Br-78	$\beta^+$ , $\gamma$ (16,2 ч)
	65	$1p1n$	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)
	150	$1p2n$	Rb-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,9 мин)
3–3,5	200	$2p1n$	Kr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,46 сут)
	10	$1\alpha 2p$	Se-78	Стабильный
	10	$1p1n$	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,4 с)
	15	$1\alpha 2p1n$	Se-77	Стабильный
	15	$3p1n$	Br-78	$\beta^+$ , $\beta^-$ , $\gamma$ (6,46 мин)
	20	$1\alpha 3p$	As-77	$\beta^-$ , $\gamma$ (1,62 сут)



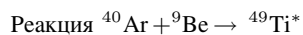
Окончание таблицы

	20	3p	Br-79	$\gamma$ ( $6,34 \cdot 10^9$ лет)
	35	3n	Sr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,25 мин)
	55	1 $\alpha$ 1p1n	Br-78	$\beta^+$ , $\gamma$ (16,2 ч)
	55	1 $\alpha$ 2n	Kr-78	$\beta^+$ ( $1 \cdot 10^{17}$ лет)
	60	1p3n	Rb-78	$\beta^+$ , $\gamma$ (17,66 мин)
	85	1p2n	Rb-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,9 мин)
	145	2p1n	Kr-79	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,46 сут)
	155	2p2n	Kr-78	2 $\beta^+$ ( $1 \cdot 10^{17}$ лет)

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{85}\text{Y}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	10	3n	Y-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (8,3 с)
	15	1p1n	Y-83	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,6 с)
	45	2p1n	Rb-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,27 мин)
	125	1p2n	Sr-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (25,36 сут)
2,5–3	10	1 $\alpha$ 1n	Y-83	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,6 с)
	25	1 $\alpha$ 2n	Rb-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,58 ч)
	25	3n	Y-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (8,3 с)
	25	1p1n	Y-83	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,6 с)
	30	1p3n	Sr-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,3 мин)
	45	1 $\alpha$ 1p1n	Kr-81	$\beta^+$ , $\gamma$ ( $2,29 \cdot 10^5$ лет)
	60	2p2n	Rb-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,58 ч)
	120	2p1n	Rb-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,27 мин)
270	1p2n	Sr-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (25,36 сут)	
3–3,5	10	1 $\alpha$ 1p	Kr-82	Стабильный
	10	1p1n	Y-83	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,6 с)
	10	2p3n	Rb-80	$\beta^+$ , $\gamma$ (33,5 с)
	15	3n	Y-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (8,3 с)
	20	3p1n	Kr-81	$\gamma$ ( $2,29 \cdot 10^5$ лет)
	25	1 $\alpha$ 2n	Rb-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,58 ч)
	50	1 $\alpha$ 1p2n	Kr-80	Стабильный
	55	1 $\alpha$ 1p1n	Kr-81	$\beta^+$ , $\gamma$ ( $2,29 \cdot 10^5$ лет)
	85	1p3n	Sr-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (22,3 мин)
	10	2p1n	Rb-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (1,27 мин)
	185	2p2n	Rb-81	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,58 ч)
	195	1p2n	Sr-82	$\beta^+$ , $\gamma$ (25,36 сут)

**Реакции под действием налетающих ионов аргона**



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1	—	—	—	—
1–1,5	10	$1p2n$	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	25	$3n$	Ti-46	Стабильный
	40	$1p1n$	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	75	$2n$	Ti-47	Стабильный
1,5–2	10	$1\alpha 1n$	Ca-44	Стабильный
	105	$1p1n$	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	130	$1p2n$	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	150	$3n$	Ti-46	Стабильный
	190	$2n$	Ti-47	Стабильный
2–2,5	20	$1\alpha 1n$	Ca-44	Стабильный
	95	$1p1n$	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	175	$2n$	Ti-47	Стабильный
	285	$3n$	Ti-46	Стабильный
	305	$1p2n$	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
2,5–3	15	$2p1n$	Ca-46	Стабильный
	20	$1\alpha 2n$	Ca-45	$\beta^-$ , $\gamma$ (163 сут)
	20	$1\alpha 1n$	Ca-44	Стабильный
	65	$1p1n$	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	130	$2n$	Ti-47	Стабильный
	380	$3n$	Ti-46	Стабильный
	440	$1p2n$	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
3–3,5	10	$4n$	Ti-45	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,08 ч)
	15	$1\alpha 1n$	Ca-44	Стабильный
	25	$2p1n$	Ca-46	Стабильный
	35	$1p1n$	Sc-47	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)
	35	$1\alpha 2n$	Ca-45	$\beta^-$ , $\gamma$ (163 сут)
	60	$1p3n$	Sc-45	Стабильный
	70	$2n$	Ti-47	Стабильный
	380	$3n$	Ti-46	Стабильный
	455	$1p2n$	Sc-46	$\beta^-$ , $\gamma$ (83,79 сут)

Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{52}\text{Cr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1,5	—	—	—	—
1,5–2	30	$1p2n$	V-49	$\epsilon$ (330 сут)
	70	$2n$	Cr-50	Стабильный
	260	$1p1n$	V-50	Стабильный
2–2,5	45	$3n$	Cr-49	$\beta^+$ , $\gamma$ (42 мин)
	85	$2n$	Cr-50	Стабильный
	190	$1p2n$	V-49	$\epsilon$ (330 сут)
	380	$1p1n$	V-50	Стабильный
2,5–3	15	$1\alpha 1n$	Ti-47	Стабильный
	40	$1p2n$	V-49	$\epsilon$ (330 сут)
	60	$2n$	Cr-50	Стабильный
	95	$3n$	Cr-49	$\beta^+$ , $\gamma$ (42 мин)
	340	$1p1n$	V-50	Стабильный
3–3,5	10	$1\alpha 3n$	Ti-45	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,08 ч)
	230	$2n$	Cr-50	Стабильный
	60	$2p1n$	Ti-49	Стабильный
	70	$1p3n$	V-48	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (15,97 сут)
	110	$3n$	Cr-49	$\beta^+$ , $\gamma$ (42 мин)
	150	$1p1n$	V-50	Стабильный
	450	$1p2n$	V-49	$\epsilon$ (330 сут)

Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{67}\text{Ga}^*$

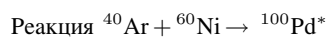
Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–1,5	—	—	—	—
1,5 - 2	30	$1p2n$	Zn-64	Стабильный
2–2,5	130	$1p2n$	Zn-64	Стабильный
	160	$2p2n$	Cu-63	Стабильный
	50	$2p1n$	Cu-64	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\beta^-$ , $\gamma$ (12,7 ч)
	75	$1p3n$	Zn-63	$\beta^+$ , $\gamma$ (38,1 мин)
	55	$1\alpha 2n$	Cu-61	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,4 ч)
	10	$3n$	Ga-64	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,62 мин)
2,5–3	100	$1p2n$	Zn-64	Стабильный
	225	$2p2n$	Cu-63	Стабильный
	40	$2p1n$	Cu-64	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\beta^-$ , $\gamma$ (12,7 ч)
	110	$1p3n$	Zn-63	$\beta^+$ , $\gamma$ (38,1 мин)

Окончание таблицы

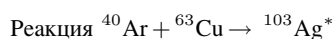
	75	$1\alpha 2n$	Cu-61	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,4 ч)
	10	$3n$	Ga-64	$\beta^+$ , $\gamma$ (2,62 мин)
	10	$1\alpha 1p 1n$	Ni-61	Стабильный
	15	$1\alpha 1p 2n$	Ni-60	Стабильный
	35	$1\alpha 3n$	Cu-60	$\beta^+$ , $\gamma$ (23 мин)
	80	$2p 3n$	Cu-62	$\beta^+$ , $\gamma$ (9,74 мин)
3–3,5	35	$1p 2n$	Zn-64	Стабильный
	190	$2p 2n$	Cu-63	Стабильный
	90	$1p 3n$	Zn-63	$\beta^+$ , $\gamma$ (38,1 мин)
	30	$1\alpha 2n$	Cu-61	$\beta^+$ , $\gamma$ (3,4 ч)
	10	$1\alpha 1p 1n$	Ni-61	Стабильный
	10	$2\alpha 1n$	Cu-62	$\beta^+$ , $\gamma$ (9,74 мин)
	15	$1\alpha 1p 2n$	Ni-60	Стабильный
	10	$1\alpha 2p 1n$	Co-60	$\beta^-$ , $\gamma$ (5,272 г)
	50	$1\alpha 3n$	Cu-60	$\beta^+$ , $\gamma$ (23 мин)
	215	$2p 3n$	Cu-62	$\beta^+$ , $\gamma$ (9,74 мин)

Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{96}\text{Ru}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2,5	—	—	—	—
2,5–3	180	$2p 2n$	Mo-93	Стабильный
	95	$2p 1n$	Mo-93	$\epsilon$ ( $3,5 \cdot 10^3$ лет)
	75	$1p 2n$	Tc-93	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (2,7 ч)
	35	$1\alpha 1p 1n$	Nb-90	$\beta^+$ , $\gamma$ (14,6 ч)
	25	$3p 1n$	Nb-92	$\epsilon$ , $\gamma$ ( $3,6 \cdot 10^7$ лет) $\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (10,15 сут)
	25	$1p 3n$	Tc-92	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,4 мин)
3–3,5	220	$2p 2n$	Mo-93	Стабильный
	100	$2p 1n$	Mo-93	$\epsilon$ ( $3,5 \cdot 10^3$ лет)
	80	$1p 2n$	Tc-93	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (2,7 ч)
	40	$1\alpha 1p 1n$	Nb-90	$\beta^+$ , $\gamma$ (14,6 ч)
	40	$3p 1n$	Nb-92	$\epsilon$ , $\gamma$ ( $3,6 \cdot 10^7$ лет) $\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (10,15 сут)
	30	$1p 3n$	Tc-92	$\beta^+$ , $\gamma$ (4,4 мин)
	90	$3p 2n$	Nb-91	$\epsilon$ , $\beta^+$ (680 лет)
	35	$1\alpha 2p 1n$	Zr-89	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (78,4 ч)
	25	$1\alpha 1p 2n$	Nb-89	$\beta^+$ , $\gamma$ (2 ч; 66 мин)
	45	$2p 3n$	Mo-91	$\beta^+$ , $\gamma$ (15,6 мин)



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2,5	—	—	—	—
2,5–3	145	$2p2n$	Ru-96	Стабильный
	120	$2p1n$	Ru-97	$\epsilon, \gamma$ (2,9 сут)
	55	$1p2n$	Rh-97	$\beta^+, \gamma$ (31 мин)
	40	$3p1n$	Tc-96	$\epsilon, \gamma$ (4,3 сут)
	30	$1\alpha 1p1n$	Tc-94	$\beta^+, \gamma$ (53 мин) $\epsilon, \beta^+, \gamma$ (4,9 ч)
	25	$1p3n$	Rh-96	$\beta^+, \gamma$ (9,9 мин)
	15	$3p$	Tc-97	$\epsilon$ ( $4 \cdot 10^6$ лет)
	15	$1\alpha 1p2n$	Tc-93	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (2,7 ч)
3–3,5	165	$2p2n$	Ru-96	Стабильный
	130	$2p1n$	Ru-97	$\epsilon, \gamma$ (2,9 сут)
	60	$1p2n$	Rh-97	$\beta^+, \gamma$ (31 мин)
	65	$3p1n$	Tc-96	$\epsilon, \gamma$ (4,3 сут)
	35	$1\alpha 1p1n$	Tc-94	$\beta^+, \gamma$ (53 мин) $\epsilon, \beta^+, \gamma$ (4,9 ч)
	25	$1p3n$	Rh-96	$\beta^+, \gamma$ (9,9 мин)
	15	$3p$	Tc-97	$\epsilon$ ( $4 \cdot 10^6$ лет)
	25	$1\alpha 1p2n$	Tc-93	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (2,7 ч)
	35	$1\alpha 2p1n$	Mo-93	$\epsilon$ ( $3,5 \cdot 10^3$ лет)
	90	$2p3n$	Ru-95	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (1,65 ч)
	65	$3p2n$	Tc-95	$\epsilon, \gamma$ (20 ч)
	20	$1\alpha 2p2n$	Mo-92	Стабильный



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2,5	—	—	—	—
2,5–3	130	$2p2n$	Rh-99	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (4,7 ч; 16 сут)
	70	$2p1n$	Rh-100	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (20,8 ч)
	55	$1p2n$	Pd-100	$\epsilon, \gamma$ (3,7 сут)
	40	$1p3n$	Pd-99	$\beta^+, \gamma$ (21,4 мин)
	20	$3p1n$	Ru-99	Стабильный
	15	$1\alpha 1p1n$	Ru-97	$\epsilon, \gamma$ (2,9 сут)
	15	$1\alpha 1p2n$	Ru-96	Стабильный

Окончание таблицы

3–3,5	180	2p2n	Rh-99	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (4,7 ч; 16 сут)
	100	2p1n	Rh-100	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (20,8 ч)
	70	1p2n	Pd-100	$\epsilon, \gamma$ (3,7 сут)
	45	1p3n	Pd-99	$\beta^+, \gamma$ (21,4 мин)
	45	3p1n	Ru-99	Стабильный
	25	1 $\alpha$ 1p1n	Ru-97	$\epsilon, \gamma$ (2,9 сут)
	15	1 $\alpha$ 1p2n	Ru-96	Стабильный
	85	2p3n	Rh-98	$\beta^+, \gamma$ (3,5 мин; 8,7 мин)
	60	3p2n	Ru-98	Стабильный
	15	1 $\alpha$ 2p1n	Tc-96	$\epsilon, \gamma$ (4,3 сут)

**Реакции под действием налетающих ионов криптона**  
**(для заданного диапазона энергий реакции  $^{84}\text{Kr} + ^{56}\text{Fe}$ ,  $^{84}\text{Kr} + ^{60}\text{Ni}$**   
**и  $^{84}\text{Kr} + ^{63}\text{Cu}$  протекают ниже барьера слияния)**

Реакция  $^{84}\text{Kr} + ^9\text{Be} \rightarrow ^{93}\text{Zr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2	—	—	—	—
2–2,5	200	3n	Zr-90	Стабильный
	40	1p2n	Y-90	$\beta^-, \gamma$ (64,1 ч)
2,5–3	420	3n	Zr-90	Стабильный
	100	1p2n	Y-90	$\beta^-, \gamma$ (64,1 ч)
	30	4n	Zr-89	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (78,4 ч)
3–3,5	450	3n	Zr-90	Стабильный
	125	1p2n	Y-90	$\beta^-, \gamma$ (64,1 ч)
	150	4n	Zr-89	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (78,4 ч)
	100	1p3n	Y-89	Стабильный
	25	1 $\alpha$ 2n	Sr-84	Стабильный

Реакция  $^{84}\text{Kr} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{96}\text{Mo}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2,5	—	—	—	—
2,5–3	200	3n	Mo-93	$\epsilon$ ( $3,5 \cdot 10^3$ лет)
	50	1p2n	Nb-93	Стабильный
	20	2n	Mo-94	Стабильный
	15	1p1n	Nb-94	$\beta^-, \gamma$ ( $2 \cdot 10^4$ лет)

Окончание таблицы

3–3,5	325	3n	Mo-93	$\epsilon$ ( $3,5 \cdot 10^3$ лет)
	150	1p2n	Nb-93	Стабильный
	25	2n	Mo-94	Стабильный
	20	1p1n	Nb-94	$\beta^-$ , $\gamma$ ( $2 \cdot 10^4$ лет)
	50	1 $\alpha$ 2n	Zr-90	Стабильный

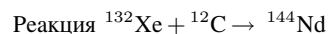
Реакция  $^{84}\text{Kr} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{111}\text{In}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–2,5	—	—	—	—
2,5–3	50	1p3n	Cd-107	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (6,5 ч)
	30	1p2n	Cd-108	Стабильный
	15	4n	In-107	$\epsilon$ , $\beta^+$ (32,4 мин)
3–3,5	200	1p3n	Cd-107	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (6,5 ч)
	45	1p2n	Cd-108	Стабильный
	30	4n	In-107	$\epsilon$ , $\beta^+$ (32,4 мин)
	50	1 $\alpha$ 3n	Ag-104	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (69,2 мин)
	50	2p2n	Ag-107	Стабильный
	25	4n	In-107	$\epsilon$ , $\beta^+$ (32,4 мин)
	20	1 $\alpha$ 2n	Ag-105	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (41,29 сут)
	25	1 $\alpha$ 1p2n	Pd-104	Стабильный
	15	3n	In-108	$\epsilon$ , $\beta^+$ (58 мин)

**Реакции под действием налетающих ионов ксенона**  
(для заданного диапазона энергий реакции  $^{132}\text{Xe} + ^{27}\text{Al}$ ,  $^{132}\text{Xe} + ^{56}\text{Fe}$ ,  
 $^{132}\text{Xe} + ^{60}\text{Ni}$ ,  $^{132}\text{Xe} + ^{63}\text{Cu}$  протекают ниже барьера слияния)

Реакция  $^{132}\text{Xe} + ^9\text{Be} \rightarrow ^{141}\text{Ce}^*$

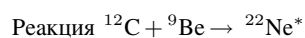
Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–3	—	—	—	—
3–3,5	250	3n	Ce-138	Стабильный
	50	4n	Ce-137	$\epsilon$ , $\beta^+$ , $\gamma$ (9 ч)



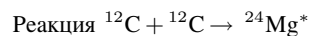
Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Максимальное сечение, мб	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
0,3–3	—	—	—	—
3–3,5	20	3n	Nd-141	$\epsilon, \beta^+, \gamma$ (2,5 ч)

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

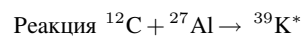
#### Реакции под действием налетающих ионов углерода



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	1p1n	6,73	6,46	10,32
	1 $\alpha$ 1n		3,86	
2,5–3	1p1n	9,14	14	26,23
	1 $\alpha$ 1n		12,23	
3–3,5	1p1n	7,80	13,5	22,48
	1 $\alpha$ 1n		8,98	

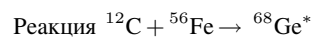


Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1,5–2	1n	3,44	0,78	0,78
2–2,5	1p1n	4,07	2,8	2,8
2,5–3	1p1n	5,60	8,47	8,47
3–3,5	1p1n	5,99	11,79	11,79

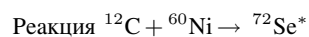


Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1–1,5	1p1n	4,54	1,02	1,86
	1 $\alpha$ 1n		0,84	
1,5–2	1 $\alpha$ 1n	5,97	5,39	9,22
	1p1n		3,83	
2–2,5	1 $\alpha$ 1n	5,56	6,76	8,84
	1p1n		2,08	
2,5–3	1 $\alpha$ 1n	7,32	10,96	10,96
3–3,5	1 $\alpha$ 1n	6,06	4,5	9
	1 $\alpha$ 1p1n			

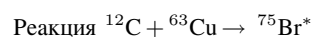




Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	$1p1n$	2,49	2,85	2,85
2,5–3	$1p1n$	2,71	5,7	5,7
3–3,5	$1p1n$	2,73	4,67	8,61
	$2p$		1,93	
	$2p1n$		2,01	

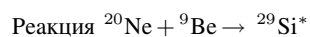


Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	$1p1n$	2,19	1,82	1,82
2,5–3	$1p1n$	2,38	5,28	5,28
3–3,5	$1p1n$	2,37	4,6	9,04
	$2p1n$		2,09	
	$1p2n$		2,35	



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	$1p1n$	2,33	1,54	1,54
2,5–3	$1p1n$	2,54	6,06	6,06
3–3,5	$1p1n$	2,53	6,84	6,84

### Реакции под действием налетающих ионов неона-20



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
0,3–1	$1p1n$	2,17	0,99	0,99
1–1,5	$1p1n$	2,41	8,15	8,15
1,5–2	$1p1n$	2,69	12,05	12,05
2–2,5	$1p1n$	3,00	10,37	22,72
	$1\alpha 1n$		3,66	
	$1p2n$		8,69	
2,5–3	$1p2n$	3,34	15,66	27,95
	$1\alpha 1n$		5,75,7	
	$1p1n$		6,59	
3–3,5	$1p2n$	3,64	18,46	28,55
	$1p1n$		4,8	
	$1\alpha 1n$		5,29	

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{32}\text{S}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1–1,5	1p1n	1,96	2,95	2,95
1,5–2	1p1n	2,18	5,73	5,73
2–2,5	1p1n	2,37	6,82	6,82
2,5–3	1p1n	2,59	5,45	7,79
	2p1n		2,34	
3–3,5	2p1n	2,79	4,3	7,49
	1p1n		3,19	

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{47}\text{V}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1,5–2	2p1n	2,30	1,59	2,66
	1p1n		1,07	
2–2,5	1p1n	2,46	0,56	1,2
	1p2n		0,64	
2,5–3	2p1n	2,65	2,53	3,31
	1p2n		0,78	
3–3,5	2p1n	2,83	1,22	3,9
	2p2n		1,68	
	3p1n		1	

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{76}\text{Kr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	1p1n	1,10	0,34	0,56
	2p1n		0,22	
2,5–3	2p1n	1,19	2,18	3,02
	1p1n		0,84	
3–3,5	1p1n	1,27	0,67	1,63
	2p2n		0,67	
	3p1n		0,29	

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{83}\text{Si}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	$2p1n$	0,94	0,55	0,97
	$1p1n$		0,42	
2,5–3	$2p1n$	1,03	1,45	3,14
	$1p2n$		0,79	
	$1p1n$		0,9	
3–3,5	$1n$	1,11	1,11	6,63
	$3p1n$		0,5	
	$2p2n$		1,4	
	$1\alpha 1p1n$		0,79	
	$1p2n$		1,89	
	$2p1n$		0,94	

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{83}\text{Y}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	$2p1n$	1,03	0,16	0,26
	$1p1n$		0,1	
2,5–3	$2p1n$	1,10	1,22	1,22
3–3,5	$2p1n$	1,18	1,37	2,96
	$3n$		1,59	

### Реакции под действием налетающих ионов неона-22

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^9\text{Be} \rightarrow ^{31}\text{Si}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
0,3–1	$2n$	2,14	1,78	2,59
	$1p1n$		0,81	
1–1,5	$2n$	2,35	7,58	11,15
	$1p1n$		3,57	
1,5–2	$1p2n$	2,60	10,39	34,74
	$1p1n$		3,39	
	$3n$		10,48	
	$2n$		10,48	
2–2,5	$3n$	2,85	25,3	36,98
	$2n$		11,68	

Окончание таблицы

2,5–3	1p2n	3,16	20,69	41,91
	2n		7,47	
	3n		13,75	
3–3,5	1p2n	3,46	21,27	48,02
	1p3n		4,39	
	2n		3,99	
	3n		18,37	

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{34}\text{S}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1–1,5	1 $\alpha$ 1n	1,96	0,68	1,91
	1p2n		1,23	
1,5–2	1p2n	2,82	5,9	9,82
	1 $\alpha$ 2n		2,35	
	1 $\alpha$ 1n		1,57	
2–2,5	1p2n	2,38	9,35	16,12
	1 $\alpha$ 2n		6,77	
2,5–3	1 $\alpha$ 2n	3,10	14,14	26,19
	1p2n		12,05	
3–3,5	1 $\alpha$ 2n	3,89	18,02	27,79
	1p2n		9,77	

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{49}\text{V}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1–1,5	2n	2,15	0,16	0,24
	1n		0,08	
1,5–2	2n	2,26	1,26	1,72
	1 $\alpha$ 1n		0,46	
2–2,5	1 $\alpha$ 1n	2,38	0,6	1,66
	2n		0,53	
	1 $\alpha$ 1n		0,53	
2,5–3	2 $\alpha$ 2n	2,55	2,1	3,79
	2p2n		1,69	
3–3,5	2 $\alpha$ 2n	2,72	2,64	5,06
	2p2n		2,42	

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{78}\text{Kr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	$1p2n$	1,06	1,5	1,99
	$2p1n$		0,49	
2,5–3	$1p2n$	1,14	1,91	5,97
	$2n$		0,71	
	$2p2n$		0,83	
	$3n$		1,6	
	$2p1n$		0,92	
3–3,5	$2p2n$	1,22	1,92	6,95
	$1p2n$		0,69	
	$2p1n$		0,44	
	$3n$		1,52	
	$1p3n$		2,38	

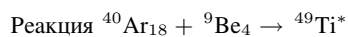
Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{82}\text{Sr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	$2p1n$	0,94	0,39	1,39
	$1p1n$		0,28	
	$1p2n$		0,72	
2,5–3	$2p1n$	1,00	1,11	2,6
	$1p2n$		1,49	
3–3,5	$2p2n$	1,06	1,82	5,35
	$1\alpha 2n$		0,64	
	$1p3n$		1,05	
	$1p2n$		0,99	
	$2p1n$		0,85	

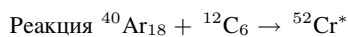
Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{85}\text{Y}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	$1p2n$	1,01	1,34	1,34
2,5–3	$1p2n$	1,07	3,06	4,4
	$2p2n$		0,67	
	$2p1n$		0,67	
3–3,5	$1p2n$	1,13	2,34	6,63
	$1\alpha 1p2n$		0,59	
	$1p3n$		1,51	
	$2p2n$		2,19	

**Реакции под действием налетающих ионов аргона**



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1–1,5	$1p2n$	1,10	0,17	2,42
	$3n$		0,64	
	$1p1n$		0,34	
	$2n$		1,27	
1,5–2	$1\alpha 1n$	1,18	0,09	11,01
	$1p1n$		0,96	
	$1p2n$		2,38	
	$3n$		4,11	
2–2,5	$2n$	1,28	3,47	19,10
	$1\alpha 1n$		0,20	
	$1p1n$		0,94	
	$3n$		8,46	
2,5–3	$1p2n$	1,40	6,04	26,09
	$2p1n$		0,16	
	$1\alpha 2n$		0,43	
	$1\alpha 1n$		0,22	
	$1p1n$		0,70	
	$2n$		2,80	
3–3,5	$3n$	1,50	12,29	29,39
	$1p2n$		9,49	
	$4n$		0,46	
	$1\alpha 1n$		0,18	
	$2p1n$		0,29	
	$1p1n$		0,41	
	$1\alpha 2n$		0,56	
	$1p3n$		2,09	
	$2n$		1,63	
$3n$	13,22			
	$1p2n$	10,55		



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1,5 - 2	$1p2n$	0,96	0,41	3,12
	$2n$		0,95	
	$1p1n$		1,76	

Окончание таблицы

2-2,5	3n	1,02	0,96	7,67
	2n		1,23	
	1p2n		2,74	
	1p1n		2,74	
2,5-3	1α1n	1,09	0,12	6,48
	1p2n		0,62	
	2n		0,93	
	3n		2,19	
	1p1n		2,62	
3-3,5	1α3n	1,16	0,25	17,38
	2n		3,75	
	2p1n		0,49	
	1p3n		1,71	
	3n		2,69	
	1p1n		1,22	
	1p2n	7,34		

Реакция  $^{40}\text{Ar}_{18} + ^{27}\text{Al}_{13} \rightarrow ^{67}\text{Ga}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
1,5-2	1p2n	1,02	0,23	0,23
2-2,5	1p2n	1,07	1,10	3,96
	2p2n		1,35	
	2p1n		0,21	
	1p3n		0,95	
	1α2n		0,22	
	3n		0,13	
2,5-3	1p2n	1,12	0,84	6,67
	2p2n		1,90	
	2p1n		0,17	
	1p3n		1,39	
	1α2n		0,63	
	3n		0,12	
	1α1p1n		0,04	
	1α1p2n		0,13	
	1α3n		0,44	
	2p3n		1,01	
3-3,5	1p2n	1,18	0,31	7,25
	2p2n		1,68	
	1p3n		1,19	
	1α2n		0,27	
	1α1p1n		0,05	

Окончание таблицы

	2 $\alpha$ 1n		0,05	
	1 $\alpha$ 1p2n		0,14	
	1 $\alpha$ 2p1n		0,05	
	1 $\alpha$ 3n		0,66	
	2p3n		2,85	

Реакция  $^{40}\text{Ar}_{18} + ^{56}\text{Fe}_{26} \rightarrow ^{96}\text{Ru}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2,5–3	2p2n	0,5	0,95	1,87
	2p1n		0,25	
	1p2n		0,20	
	1 $\alpha$ 1p1n		0,09	
	3p1n		0,19	
	1p3n		0,19	
3–3,5	2p2n	0,52	1,22	3,54
	2p1n		0,28	
	1p2n		0,45	
	1 $\alpha$ 1p1n		0,11	
	3p1n		0,11	
	1p3n		0,25	
	3p2n		0,50	
	1 $\alpha$ 2p1n		0,10	
	1 $\alpha$ 1p2n		0,14	
	2p3n		0,38	

Реакция  $^{40}\text{Ar}_{18} + ^{60}\text{Ni}_{28} \rightarrow ^{100}\text{Pd}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2,5–3	2p2n	0,44	0,73	1,78
	2p1n		0,30	
	1p2n		0,28	
	3p1n		0,12	
	1 $\alpha$ 1p1n		0,08	
	1p3n		0,19	
	1 $\alpha$ 1p2n		0,08	
3–3,5	2p2n	0,47	0,86	3,36
	2p1n		0,34	
	1p2n		0,32	



Окончание таблицы

	3p1n		0,17	
	1α1p1n		0,09	
	1p3n		0,20	
	1α1p2n		0,13	
	1α2p1n		0,09	
	2p3n		0,71	
	3p2n		0,34	
	1α2p2n		0,11	

Реакция  $^{40}\text{Ag}_{18} + ^{63}\text{Cu}_{29} \rightarrow ^{103}\text{Ag}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2,5–3	2p2n	0,47	0,65	1,31
	2p1n		0,18	
	1p2n		0,28	
	1p3n		0,30	
	3p1n		0,05	
	1α1p1n		0,04	
	1α1p2n		0,08	
3–3,5	2p2n	0,49	0,94	3,30
	2p1n		0,26	
	1p2n		0,37	
	1p3n		0,35	
	3p1n		0,12	
	1α1p1n		0,07	
	1α1p2n		0,08	
	2p3n		0,75	
	3p2n		0,32	
	1α2p1n		0,04	

**Реакции под действием налетающих ионов криптона**

Реакция  $^{84}\text{Kr} + ^9\text{Be} \rightarrow ^{93}\text{Zr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2–2,5	3n	0,56	2,57	2,91
	1p2n		0,34	
2,5–3	3n	0,85	8,26	10,36
	1p2n		1,31	
	4n		0,79	

Окончание таблицы

3-3,5	3n	1,38	4,79	17,57
	1p2n		2,66	
	4n		6,39	
	1p3n		3,20	
	1α2n		0,53	

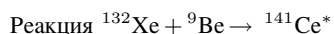
Реакция  $^{84}\text{Kr} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{96}\text{Mo}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2,5-3	3n	0,66	2,79	3,65
	1p2n		0,46	
	2n		0,19	
	1p1n		0,07	
3-3,5	3n	1,06	7,28	10,79
	1p2n		2,24	
	2n		0,37	
	1p1n		0,15	
	1α2n		0,75	

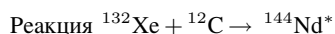
Реакция  $^{84}\text{Kr} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{111}\text{In}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
2,5-3	1p3n	1,09	0,61	1,09
	1p2n		0,24	
	4n		0,24	
3-3,5	1p3n	1,08	2,44	5,29
	1p2n		0,36	
	4n		0,49	
	1α3n		0,61	
	2p2n		0,41	
	4n		0,41	
	1α2n		0,18	
	1α1p2n		0,21	
3n	0,18			

**Реакции под действием налетающих ионов ксенона**



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
3–3,5	3n	0,35	3,08	3,90
	4n		0,82	



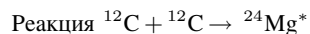
Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Канал реакции	Пробег ионов, мкм	Поток нейтронов, $10^7 \text{ c}^{-1}$	Суммарный поток, $10^7 \text{ c}^{-1}$
3–3,5	3n	0,27	0,11	0,11

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4**

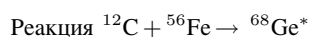
**РАСЧЕТЫ ГАММА-ФОНА**

**(В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ, ЧТО ИНТЕНСИВНОСТЬ ПУЧКОВ УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИНИМАЛАСЬ ПОСТОЯННОЙ И РАВНОЙ 1 мКА/ЧАСТИЦ ( $6,24 \cdot 10^{12} \text{ c}^{-1}$ ), ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ ПОСЛЕ ВЫКЛЮЧЕНИЯ ПУЧКА СОСТАВЛЯЛ 1 ч)**

**Реакции под действием налетающих ионов углерода**



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2,5–3	169,4	1p1n	Na-22	$\gamma$ (2,603 лет)
3–3,5	235,8	1p1n	Na-22	$\gamma$ (2,603 лет)



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	53	1p1n	Ga-66	$\gamma$ (9,4 ч)
2,5–3	106	1p1n	Ga-66	$\gamma$ (9,4 ч)
	4,2	2p1n	Zn-65	$\gamma$ (244,3 сут)
	5,2	2n	Ge-66	$\gamma$ (2,3 ч)
	4,7	1 $\alpha$ 1n	Zn-63	$\gamma$ (38,1 мин)
3–3,5	86	1p1n	Ga-66	$\gamma$ (9,4 ч)
	2,3	1p2n	Ga-65	$\gamma$ (15 мин)
	4,2	2n	Ge-66	$\gamma$ (2,3 ч)
	8,4	1 $\alpha$ 1n	Zn-63	$\gamma$ (38,1 мин)

Реакция  $^{12}\text{C} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{72}\text{Se}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	11,6	$1p1n$	As-70	$\gamma$ (53 мин)
	18,5	$2n$	Se-70	$\gamma$ (41,1 мин)
2,5–3	48	$1p1n$	As-70	$\gamma$ (53 мин)
	4,8	$2n$	Se-70	$\gamma$ (41,1 мин)
	1,4	$1\alpha 1n$	Ge-67	$\gamma$ (18,7 мин)
3–3,5	42	$1p1n$	As-70	$\gamma$ (53 мин)
	2,3	$1p2n$	As-69	$\gamma$ (15,1 мин)
	4,2	$2n$	Se-70	$\gamma$ (41,1 мин)
	5	$1\alpha 1n$	Ge-67	$\gamma$ (18,7 мин)

Реакция  $^{12}\text{C} + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{75}\text{Br}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	27,7	$1p1n$	Se-73	$\gamma$ (7,1 ч)
2,5–3	109	$1p1n$	Se-73	$\gamma$ (7,1 ч)
3–3,5	124,2	$1p1n$	Se-73	$\gamma$ (7,1 ч)
	48	$2p1n$	As-72	$\gamma$ (26 ч)
	6,1	$1\alpha 1n$	As-70	$\gamma$ (53 мин)

### Реакции под действием налетающих ионов неона-20

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{47}\text{V}^*$

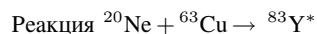
Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
1,5–2	17	$1p1n$	Ti-45	$\gamma$ (3,08 ч)
	40,2	$2p1n$	Sr-44	$\gamma$ (3,97 ч)
2–2,5	5	$1\alpha 1p$	K-43	$\gamma$ (22,30 ч)
	6,4	$1p2n$	Ti-44	$\gamma$ (60 лет)
	8,9	$1p1n$	Ti-45	$\gamma$ (3,08 ч)
2,5–3	2,3	$1p1n$	Ti-45	$\gamma$ (3,08 ч)
	8,4	$2p2n$	Sc-43	$\gamma$ (3,89 ч)
	11,7	$1p2n$	Ti-44	$\gamma$ (60 лет)
	66	$2p1n$	Sr-44	$\gamma$ (3,97 ч)
3–3,5	14,2	$1\alpha 2p1n$	K-42	$\gamma$ (12,36 ч)
	7,9	$1p2n$	Ti-44	$\gamma$ (60 лет)
	28	$2p2n$	Sc-43	$\gamma$ (3,89 ч)
	30	$2p1n$	Sr-44	$\gamma$ (3,97 ч)

Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{76}\text{Kr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	3,9	2p1n	Se-73	$\gamma$ (7,15 ч)
	0,9	1p1n	Br-74	$\gamma$ (25,4 мин)
2,5–3	6,5	1 $\alpha$ 1p1n	As-72	$\gamma$ (1,08 сут)
	4,2	3p	As-73	$\gamma$ (80,3 сут)
	3	1p1n	Br-74	$\gamma$ (25,4 мин)
	5,9	2p1n	Se-73	$\gamma$ (7,15 ч)
3–3,5	2	3p	As-73	$\gamma$ (80,3 сут)
	0,06	2n	Kr-74	$\gamma$ (11,5 мин)
	9,3	1 $\alpha$ 2p1n	Ge-71	$\gamma$ (11,43 сут)
	12	1 $\alpha$ 1p1n	As-72	$\gamma$ (1,08 сут)
	10,7	3p1n	As-72	$\gamma$ (11,43 сут)
	13,4	2p2n	Se-72	$\gamma$ (8,4 сут)
	2,5	1p1n	Br-74	$\gamma$ (25,4 мин)

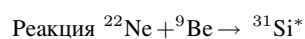
Реакция  $^{20}\text{Ne} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{83}\text{Sr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	4	1 $\alpha$ 1p	Br-77	$\gamma$ (2,38 сут)
	3	3p	Br-77	$\gamma$ (2,38 сут)
	0,8	1p1n	Rb-78	$\gamma$ (17,66 мин)
	9,5	2p1n	Kr-77	$\gamma$ (1,24 ч)
2,5–3	4,2	1 $\alpha$ 1p	Br-77	$\gamma$ (2,38 сут)
	3	3p1n	Br-76	$\gamma$ (16,20 ч)
	10	1 $\alpha$ 1p1n	Br-76	$\gamma$ (16,20 ч)
	6,5	1 $\alpha$ 1n	Kr-77	$\gamma$ (1,24 ч)
	8,5	3p	Br-77	$\gamma$ (2,38 сут)
	1,8	1p1n	Rb-78	$\gamma$ (17,66 мин)
	43,5	2p1n	Kr-77	$\gamma$ (1,24 ч)
3–3,5	6	1 $\alpha$ 2p1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	3,6	3p	Br-77	$\gamma$ (2,38 сут)
	5,3	1 $\alpha$ 1n	Kr-77	$\gamma$ (1,24 ч)
	0,9	1p1n	Rb-78	$\gamma$ (17,66 мин)
	20	3p1n	Br-76	$\gamma$ (16,20 ч)
	28	2p2n	Kr-76	$\gamma$ (14,8 ч)
	47,4	1 $\alpha$ 1p1n	Br-76	$\gamma$ (16,2 ч)
16,3	2p1n	Kr-77	$\gamma$ (1,24 ч)	

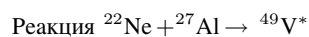


Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	0,3	$1p1n$	Sr-81	$\gamma$ (22,3 мин)
2,5–3	10,4	$1\alpha 1p1n$	Kr-79	$\gamma$ (1,46 ч)
	0,6	$1p1n$	Sr-81	$\gamma$ (22,3 мин)
	5,8	$1p2n$	Sr-80	$\gamma$ (1,77 ч)
3–3,5	0,6	$1\alpha 2n$	Rb-78	$\gamma$ (22,9 мин)
	1,9	$2p$	Rb-81	$\gamma$ (4,58 ч)
	0,4	$1p1n$	Sr-81	$\gamma$ (22,3 мин)
	9	$3p1n$	Kr-79	$\gamma$ (1,46 сут)
	2,1	$2p2n$	Rb-78	$\gamma$ (22,9 мин)
	24,3	$1\alpha 1p1n$	Kr-79	$\gamma$ (1,46 сут)
	9,5	$1p2n$	Sr-80	$\gamma$ (1,77 ч)

#### Реакции под действием налетающих ионов неона-22



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
1–1,5	9	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\gamma$ (20,91 ч)
1,5–2	19	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\gamma$ (20,91 ч)
2–2,5	17,7	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\gamma$ (20,91 ч)
2,5 - 3	1,2	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\gamma$ (20,91 ч)
3–3,5	29	$1\alpha 1n$	Mg-28	$\gamma$ (20,91 ч)



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
1–1,5	0,2	$2n$	V-47	$\gamma$ (32,6 мин)
	0,8	$1n$	V-48	$\gamma$ (15,97 сут)
	2	$2p$	Sc-47	$\gamma$ (3,35 сут)
1,5–2	9,5	$2p1n$	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	23	$1\alpha 1n$	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	4,7	$2n$	V-47	$\gamma$ (32,6 мин)
	22	$2p$	Sc-47	$\gamma$ (3,35 сут)
2–2,5	1,2	$1p3n$	Ti-45	$\gamma$ (3,08 ч)
	1,2	$1n$	V-48	$\gamma$ (15,97 сут)
	8,3	$2p2n$	Sc-45	$\gamma$ ( $6,34 \cdot 10^9$ лет)

Окончание таблицы

	5,3	2n	V-47	$\gamma$ (32,6 мин)
	7,9	2 $\alpha$ 2n	K-43	$\gamma$ (22,3 ч)
	5,3	2p1n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	10	1 $\alpha$ 1n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
2,5–3	8,5	2p	Sc-47	$\gamma$ (3,35 сут)
	0,9	1n	V-48	$\gamma$ (15,97 сут)
	8,5	2p1n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	16,9	1 $\alpha$ 1n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	33,8	2p2n	Sc-45	$\gamma$ (6,34 · 10 <sup>9</sup> лет)
	63	2 $\alpha$ 2n	K-43	$\gamma$ (22,3 ч)
3–3,5	30	2p	Sc-47	$\gamma$ (3,35 сут)
	3	2p1n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	7,5	1 $\alpha$ 1n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	12,1	1 $\alpha$ 2n	Sc-45	$\gamma$ (6,34 · 10 <sup>9</sup> лет)
	21,3	1 $\alpha$ 1p1n	Ca-45	$\gamma$ (162,61 сут)
	12,1	2p	Sc-47	$\gamma$ (3,35 сут)
	48,4	2p2n	Sc-45	$\gamma$ (6,34 · 10 <sup>9</sup> лет)
	79,2	2 $\alpha$ 2n	K-43	$\gamma$ (22,3 ч)

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{78}\text{Kr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	4	1 $\alpha$ 1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	3,2	2n	Kr-76	$\gamma$ (14,8 ч)
	5,4	1p1n	Br-76	$\gamma$ (16,2 ч)
	14,7	2p1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	22,5	1p2n	Br-75	$\gamma$ (1,61 ч)
2,5–3	0,9	1p3n	Br-74	$\gamma$ (25,4 мин)
	10,3	1 $\alpha$ 1p2n	As-73	$\gamma$ (80,3 сут)
	4,1	1p1n	Br-76	$\gamma$ (16,2 ч)
	14,5	1 $\alpha$ 1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	7,1	2n	Kr-76	$\gamma$ (14,8 ч)
3–3,5	28,6	2p1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	3,1	1 $\alpha$ 1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
	3,8	3p1n	As-74	$\gamma$ (17,77 сут)
	13	1 $\alpha$ 1p2n	As-73	$\gamma$ (80,3 сут)
	6,7	1p2n	Br-75	$\gamma$ (1,61 ч)
	13,2	2p1n	Se-75	$\gamma$ (119,78 сут)
6,1	1p3n	Br-74	$\gamma$ (25,4 мин)	

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{82}\text{Sr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	3,9	$1\alpha 1n$	Kr-79	$\gamma$ (1,46 сут)
	1,8	$1p 2n$	Rb-79	$\gamma$ (22,9 мин)
	11,7	$2p 1n$	Kr-79	$\gamma$ (1,46 сут)
2,5 - 3	1,5	$2n$	Sr-80	$\gamma$ (1,77 ч)
	15	$1\alpha 1p 1n$	Br-78	$\gamma$ (16,2 ч)
	0,4	$1p 2n$	Rb-79	$\gamma$ (22,9 мин)
	33,3	$2p 1n$	Kr-79	$\gamma$ (1,46 сут)
3–3,5	8,2	$1\alpha 3p$	As-77	$\gamma$ (1,62 сут)
	3,5	$3p$	Br-79	$\gamma$ ( $6,34 \cdot 10^9$ лет)
	19	$1\alpha 1p 1n$	Br-78	$\gamma$ (16,2 ч)
	2	$1p 3n$	Rb-78	$\gamma$ (17,66 мин)
	2,4	$1p 2n$	Rb-79	$\gamma$ (22,9 мин)
25,5	$2p 1n$	Kr-79	$\gamma$ (1,46 сут)	

Реакция  $^{22}\text{Ne} + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{85}\text{Y}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	20,1	$1p 2n$	Sr-82	$\gamma$ (25,36 сут)
2,5–3	6,9	$1\alpha 2n$	Rb-81	$\gamma$ (4,58 ч)
	1,1	$1p 3n$	Sr-81	$\gamma$ (22,3 мин)
	15	$1\alpha 1p 1n$	Kr-81	$\gamma$ ( $2,29 \cdot 10^5$ лет)
	13,4	$2p 2n$	Rb-81	$\gamma$ (4,58 ч)
	45,9	$1p 2n$	Sr-82	$\gamma$ (25,36 сут)
3–3,5	6,9	$3p 1n$	Kr-81	$\gamma$ ( $2,29 \cdot 10^5$ лет)
	11,2	$1\alpha 2n$	Rb-81	$\gamma$ (4,58 ч)
	29	$1\alpha 1p 1n$	Kr-81	$\gamma$ ( $2,29 \cdot 10^5$ лет)
	3,3	$1p 3n$	Sr-81	$\gamma$ (22,3 мин)
	64,7	$2p 2n$	Rb-81	$\gamma$ (4,58 ч)
	35,1	$1p 2n$	Sr-82	$\gamma$ (25,36 сут)

### Реакции под действием налетающих ионов аргона

Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^9\text{Be} \rightarrow ^{49}\text{Tl}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
1–1,5	0,9	$1p 2n$	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	3,4	$1p 1n$	Sc-47	$\gamma$ (83,79 сут)
1,5–2	9,6	$1p 1n$	Sc-47	$\gamma$ (83,79 сут)
	11,9	$1p 2n$	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)



Окончание таблицы

2–2,5	9,6	1p1n	Sc-47	$\gamma$ (83,79 сут)
	30,2	1p2n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
2,5–3	2,1	1 $\alpha$ 2n	Ca-45	$\gamma$ (163 сут)
	7,0	1p1n	Sc-47	$\gamma$ (83,79 сут)
3–3,5	47,5	1p2n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)
	1,8	4n	Ti-45	$\gamma$ (3,08 ч)
	4,1	1p1n	Sc-47	$\gamma$ (83,79 сут)
	2,8	1 $\alpha$ 2n	Ca-45	$\gamma$ (163 сут)
	52,8	1p2n	Sc-46	$\gamma$ (83,79 сут)

Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{52}\text{Cr}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	1,2	3n	Cr-49	$\gamma$ (42 мин)
2,5–3	2,7	3n	Cr-49	$\gamma$ (42 мин)
3–3,5	0,7	1 $\alpha$ 3n	Ti-45	$\gamma$ (3,08 ч)
	5,7	1p3n	V-48	$\gamma$ (15,97 сут)
	3,3	3n	Cr-49	$\gamma$ (42 мин)

Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{67}\text{Ga}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	2,0	2p1n	Cu-64	$\gamma$ (12,7 ч)
	1,1	1p3n	Zn-63	$\gamma$ (38,1 мин)
	0,9	1 $\alpha$ 2n	Cu-61	$\gamma$ (3,4 ч)
2,5–3	1,6	2p1n	Cu-64	$\gamma$ (12,7 ч)
	1,6	1p3n	Zn-63	$\gamma$ (38,1 мин)
	2,6	1 $\alpha$ 2n	Cu-61	$\gamma$ (3,4 ч)
	0,2	1 $\alpha$ 3n	Cu-60	$\gamma$ (23 мин)
3–3,5	1,3	1p3n	Zn-63	$\gamma$ (38,1 мин)
	1,1	1 $\alpha$ 2n	Cu-61	$\gamma$ (3,4 ч)
	0,5	1 $\alpha$ 2p1n	Co-60	$\gamma$ (5,3 г)
	0,4	1 $\alpha$ 3n	Cu-60	$\gamma$ (23 мин)

Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{96}\text{Ru}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2,5–3	0,8	1p2n	Tc-93	$\gamma$ (2,7 ч)
	0,9	1 $\alpha$ 1p1n	Nb-90	$\gamma$ (14,6 ч)
	1,9	3p1n	Nb-92	$\gamma$ (3,6 · 10 <sup>7</sup> лет)

Окончание таблицы

3–3,5	1,7	1p2n	Tc-93	γ (2,7 ч)
	1,0	1α1p1n	Nb-90	γ (14,6 ч)
	1,1	3p1n	Nb-92	γ (3,6 · 10 <sup>7</sup> лет)
	1,0	1α2p1n	Zr-89	γ (78,4 ч)
	0,5	1α1p2n	Nb-89	γ (2 ч)
	0,1	2p3n	Mo-91	γ (15,6 мин)

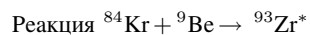
Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^{60}\text{Ni} \rightarrow ^{100}\text{Pd}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2,5–3	3,0	2p1n	Ru-97	γ (2,7 сут)
	0,7	1p2n	Rh-97	γ (31 мин)
	1,2	3p1n	Tc-96	γ (4,3 сут)
	0,7	1α1p1n	Tc-94	γ (4,9 ч)
	0,6	1α1p2n	Tc-93	γ (2,7 ч)
3–3,5	3,4	2p1n	Ru-97	γ (2,9 сут)
	0,8	1p2n	Rh-97	γ (31 мин)
	1,7	3p1n	Tc-96	γ (4,3 сут)
	0,8	1α1p1n	Tc-94	γ (4,9 ч)
	1,0	1α1p2n	Tc-93	γ (2,7 ч)
	1,6	2p3n	Ru-95	γ (1,65 ч)
0,16	3p2n	Tc-95	γ (20 ч)	

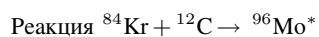
Реакция  $^{40}\text{Ar} + ^{63}\text{Cu} \rightarrow ^{103}\text{Ag}^*$

Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2,5–3	3,7	2p2n	Rh-99	γ (16 сут)
	2,9	2p1n	Rh-100	γ (20,8 ч)
	14	1p2n	Pd-100	γ (3,7 сут)
	0,3	1p3n	Pd-99	γ (21,4 мин)
	0,8	1α1p1n	Ru-97	γ (2,9 сут)
3–3,5	4,3	2p2n	Rh-99	γ (16 сут)
	3,3	2p1n	Rh-100	γ (20,8 ч)
	1,6	1p2n	Pd-100	γ (3,7 сут)
	0,3	1p3n	Pd-99	γ (21,4 мин)
	0,9	1α1p1n	Ru-97	γ (2,9 сут)
	0,9	1α2p1n	Tc-96	γ (4,3 сут)

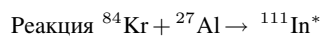
### Реакции под действием налетающих ионов криптона



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2–2,5	1,7	$1p2n$	Y-90	$\gamma$ (64,1 ч)
2,5–3	6,5	$1p2n$	Y-90	$\gamma$ (64,1 ч)
	2,0	$4n$	Zr-89	$\gamma$ (78,4 ч)
3–3,5	13,2	$1p2n$	Y-90	$\gamma$ (64,1 ч)
	15,8	$4n$	Zr-89	$\gamma$ (78,4 ч)

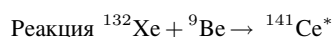


Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2,5–3	0,7	$1p1n$	Nb-94	$\gamma$ ( $2 \cdot 10^4$ лет)
3–3,5	1,5	$1p1n$	Nb-94	$\gamma$ ( $2 \cdot 10^4$ лет)

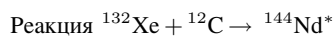


Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
2,5–3	1,8	$1p3n$	Cd-107	$\gamma$ (6,5 ч)
3–3,5	7,3	$1p3n$	Cd-107	$\gamma$ (6,5 ч)
	1,1	$1\alpha 3n$	Ag-104	$\gamma$ (69,2 мин)
	0,9	$1\alpha 2n$	Ag-105	$\gamma$ (41,29 сут)

### Реакции под действием налетающих ионов ксенона



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
3–3,5	1,9	$4n$	Ce-137	$\gamma$ (9 ч)



Энергия пучка ионов, МэВ/нуклон	Активность, МБк	Канал реакции	Образующиеся изотопы	Характеристики распада
3–3,5	0,3	$3n$	Nd-141	$\gamma$ (2,5 ч)

## ЛИТЕРАТУРА

1. ADNDT. 1980. V. 25, No. 5/6. P. 389–619.
2. *Bass R.* Nuclear Reactions with Heavy Ions. Berlin; Heidelberg; N. Y.: Springer-Verlag, 1980.
3. *Moeller P. et al.* // ADNDT. 1995. V. 59. P. 185–381.
4. [nrv.jinr.ru](http://nrv.jinr.ru)
5. *Satkowiak L.J. et al.* // Phys. Rev. C. 1982. V. 26. P. 2027.
6. *Nguyen Van Sen et al.* // Phys. Rev. C. 1983. V. 27. P. 194.
7. [www.srim.org](http://www.srim.org)
8. *Темцев Ю. Г.* Частное сообщение ЛЯР ОИЯИ. 2011.
9. *Sunil C. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 534. P. 518.

Получено 21 ноября 2011 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 30.12.2011.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,31. Уч.-изд. л. 4,1. Тираж 230 экз. Заказ № 57550.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)