

Ф-716

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р7 - 3808 +



Г.Н.Флеров, В.А.Друин, А.Г.Демин, Ю.В.Лобанов,
Н.К.Скобелев, Г.Н.Акапьев, Б.В.Фефилов,
И.В.Колесов, К.А.Гаврилов, Ю.П.Харитонов,
Л.П.Челноков

ЭКСПЕРИМЕНТЫ
ПО ПОИСКУ α -РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ
105 ЭЛЕМЕНТА

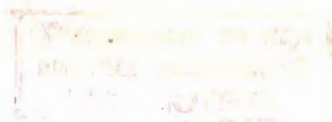
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1968

P7 - 3808

Г.Н.Флеров, В.А.Друин, А.Г.Демин, Ю.В.Лобанов,
Н.К.Скобелев, Г.Н.Акапьев, Б.В.Фефилов,
И.В.Колесов, К.А.Гаврилов, Ю.П.Харитонов,
Л.П.Челноков

ЭКСПЕРИМЕНТЫ
ПО ПОИСКУ α -РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ
105 ЭЛЕМЕНТА



7307/3 нр.

Для осуществления синтеза 105 элемента при бомбардировке мишени из ^{248}Am ионами ^{22}Ne и ^{20}Ne наиболее эффективны реакции полного слияния с испарением 4 или 5 нейтронов, в которых образуются изотопы 105 элемента с массовыми числами 258-261.

Из различных систематик, в частности, из работы Вайолы ^{/1/} следует, что основным типом распада изотопов $^{258-261}_{105}$ должен быть α -распад, а энергия α -распада этих изотопов заключена в пределах от 9,4 Мэв до 9,9 Мэв. Оценки показывают, что без учёта замедления скорости α -распада из-за нечётности изотопов $^{258-261}_{105}$ их периоды полураспада должны находиться в интервале 0,001 - 0,01 сек. Если учесть это замедление, используя средние значения коэффициентов запрета для нечётных ядер из работы ^{/1/}, то наиболее вероятные периоды полураспада изотопов $^{258-261}_{105}$ могут принимать значения примерно на порядок больше. Следует, однако, учитывать что разброс известных коэффициентов запрета тяжелых ядер весьма велик. Так, изотопы эйнштейния с теми же числами нейтронов, что и $^{258-260}_{105}$, имеют коэффициенты запрета 16; 2 и 3 соответственно, а коэффициент запрета при α -распаде ^{258}Md составляет 1000 ^{/2/}. Такая неопределенность в оценке времени жизни изотопов сильно затрудняет их поиск.

Большие трудности возникают также из-за малых сечений образования изотопов 105 элемента. Так, оценка сечения реакции $^{248}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{200}\text{105}$ дает величину $10^{-33} \text{ см}^2 / 3/$, а для других возможных реакций сечение может быть еще меньше.

В настоящей работе рассматриваются результаты экспериментов с ионами ^{22}Ne , направленных на синтез изотопов 105 элемента с массовыми числами 260, 261 и проводившихся в период с июня по ноябрь 1967 года. О некоторых предварительных результатах этой работы сообщалось на международной конференции по структуре ядра в Токио^{/4/}.

Часть I.

Первая серия экспериментов проводилась на отклоненном пучке 310-сантиметрового циклотрона ОИЯИ с помощью экспериментальной установки, которая использовалась ранее для изучения свойств изотопов 102 и 103 элементов^{/5,6/}. Эта установка была несколько усовершенствована с целью увеличения ее быстродействия, т.е. сокращения времени переноса ядер-продуктов реакций к детектору. Время переноса ядер газовой струей из камеры с мишенью к сборнику ядер так же, как и время механического перемещения сборника к детектору, составляло 0,1 сек. Таким образом суммарное время переноса ядер было равно 0,2 сек. Время экспозиции сборника перед детектором (в это время накопление ядер происходило на следующем сборнике) составляло 0,27 сек. Такой временной режим измерений позволял со значительной эффективностью исследовать α -активности с периодами полураспада от 0,1 до 3 сек.

Описанная ранее электронная схема была дополнена специальным устройством, которое позволяло осуществлять амплитудно-временной ана-

лиз импульсов от α -частиц дочерних ядер. С помощью этого устройства после прихода импульса в определенном энергетическом интервале облучение прекращалось, а экспозиция сборника автоматически продлевалась на время, достаточное для регистрации импульсов от α -частиц дочерних ядер, которые в результате отдачи при α -распаде материнского ядра вбивались в материал сборника. Время такой "остановки" делилось на 16 каналов. Импульсы, зарегистрированные во время "остановки", а также импульсы, вызвавшие "остановку", при записи на телетайпе сопровождались особыми метками. Таким образом можно было устанавливать наличие или отсутствие генетической связи между α -излучателями, что является важным критерием при идентификации неизвестных α -активностей. В наших экспериментах время "остановки" составляло 160 сек., что определялось временем жизни ($T_{1/2} = 35$ сек) изотопов 103 элемента ¹⁷¹, а диапазон энергий α -частиц, которые вызывали "остановку", достаточно широко охватывал предсказываемые систематикой значения энергий α -частиц изотопов 105 элемента (8,8 - 10,3 Мэв). В дальнейшем мы будем употреблять термин "совпадение" для обозначения случаев регистрации импульсов во время "остановки". При этом импульсы, вызвавшие "остановку", мы будем называть первичными, а импульсы, пришедшие во время "остановки", - вторичными.

Поиск изотопов 105 элемента проводился при бомбардировке мишени из ²⁴³Am толщиной 1 мг/см² ионами ²²Ne с энергией 123 Мэв^{x/}.

^{x/}Во всех дальнейших опытах энергия ионов ²²Ne была 123 Мэв и поэтому не указывается.

Такая энергия по оценкам является промежуточной между энергиями ионов, соответствующими максимумам функций возбуждения реакций $^{248}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 4n)^{261}\text{105}$ и $^{248}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{260}\text{105}$. Суммарный поток ионов ^{22}Ne через мишень составил 600 мка.

Из анализа α -спектра, измеренного в этих опытах, было получено указание на существование α -группы с энергией 9,4 \pm 0,1 Мэв, которая могла принадлежать новому излучателю. Энергия этой α -группы близка к величине, ожидаемой для α -частиц изотопа $^{261}\text{105}$ ($Q_{\alpha} = 9,51 \text{ Мэв}^{1/2}$). Существенно также, что именно с α -группой 9,4 Мэв связан единственный зарегистрированный в этих опытах случай совпадения, в котором характеристики вторичного импульса согласуются со свойствами изотопов $^{256}, ^{257}\text{103}$: импульс с энергией 8,6 Мэв был зарегистрирован в интервале 0 + 20 сек после прихода импульса с энергией 9,4 Мэв.

Оценки показывают, что вероятность случайного совпадения подобных импульсов не превышает 3%. Это обстоятельство позволяет предположить, что α -группа 9,4 Мэв принадлежит одному из изотопов $^{260}, ^{261}\text{105}$. Сечение образования этого изотопа составляет $2 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$, если его период полураспада находится в интервале 0,2 - 1,0 сек. Возможно также, что период полураспада этого изотопа отличается в ту или другую сторону от приведенных значений, и тогда сечение образования может быть соответственно большим.

Часть II.

Опыты по поиску α -распада изотопов 105 элемента были продолжены на новой установке, которая позволяла с одинаковой эффек-

тивностью регистрировать α -частицы изотопов с любыми периодами полураспада свыше 0,05 сек. Схема сбора ядер отдачи и регистрации α -частиц показана на рис. 1. Объем камеры, которая наполнялась смесью азота и гелия, был уменьшен до 3 см³. Ядра-продукты реакций вместе с газом переносились из камеры по газопроводу диаметром 3 мм, который оканчивался отверстием диаметром 0,5 - 1,0 мм, проходили через отверстие в кольцевом (Si + Au) - детекторе с внешним диаметром чувствительного слоя 2 см и попадали на сборник, расположенный перед детектором. Уменьшение объема камеры и исключение механического переноса ядер к детектору существенно сократили время транспортировки ядер. Сборник ядер-продуктов мог быть неподвижным. В этом случае можно было наблюдать распад изотопов со сколь угодно большими периодами полураспада (вплоть до минут). При подвижном сборнике могли изучаться лишь те изотопы, период полураспада которых существенно не превышал времени пребывания сборника перед детектором.

Опыты проводились на выведенном пучке 310-сантиметрового циклотрона ОИЯИ. Синтез изотопов 105 элемента осуществлялся в той же комбинации мишень - бомбардирующая частица и при той же энергии ионов, как и в первой серии опытов, т.е. в ядерных реакциях



Электронная аппаратура была та же, что и ранее. Осуществлялась регистрация "совпадений" импульсов в диапазоне энергий α -частиц 8,8 - 10,3 Мэв с импульсами от α -частиц с энергией выше 7,9 Мэв.

Измерения проводились с неподвижным сборником ядер. Суммарный поток ионов ²²Ne через мишень в этой серии экспериментов составил 400 мка-часов.

В спектре α -частиц, полученном в этих опытах, наиболее интенсивными (выше 8 Мэв) были α -группы с энергией 8,3; 8,7; 9,0 и 11,6 Мэв. Эти α -группы связаны с известными продуктами реакций на примеси свинца в мишени, а также с продуктами реакций: передачи на америции. На рис. 2 показан суммарный спектр α -частиц с энергиями от 8,8 до 10,3 Мэв, для которых производился анализ временных корреляций. Помимо наиболее интенсивной на этом спектре α -группы с энергией 9,0 Мэв, о природе которой уже говорилось, следует отметить возможное наличие слабых α -групп с энергией 9,4; 9,7 и 10,1 Мэв.

Специальные опыты по определению источников фона на примесях свинца в америциевой мишени, а также фона от электромагнитных наводок или аппаратурных дефектов показали, что их вклад в данной области энергий α -частиц несущественен.

Дальнейший анализ проводился на основании данных по временной корреляции импульсов от α -частиц с энергией 8,8 - 10,3 Мэв с импульсами от α -частиц, энергия которых соответствует α -излучению изотопов $^{256}_{103}$ и $^{257}_{103}$. В этом случае главным и практически единственным источником фона являются случайные совпадения, интенсивность которых определяется загрузкой измерительного тракта первичными и вторичными импульсами. Наиболее правильную оценку фона случайных совпадений импульсов от α -частиц с энергией меньше 9,25 Мэв с импульсами в диапазоне энергий α -частиц 8,35 - 8,60 Мэв, охватывающем практически весь спектр α -излучения изотопов $^{256}_{103}$ и $^{257}_{103}$. При этом нужно предположить отсутствие генетической связи между α -излуча-

телями с энергией 8,8 - 9,25 Мэв и 8,35 - 8,60 Мэв. Возможно, что это предположение не является полностью справедливым, что приведет к некоторому, скорее всего, незначительному завышению оценки фона.

Результаты сопоставления относительного количества совпадений для различных α -групп представлены в таблице. С учётом приближенного характера выделения α -групп 9,4; 9,7 и 10,1 Мэв, анализ проводился путем подсчёта импульсов в энергетических интервалах 8,8 - 9,25; 9,25 - 9,55; 9,55 - 9,80; 9,80 - 10,3 Мэв.

Из таблицы видно существенное превышение относительного количества совпадений от α -групп 9,4 и 9,7 Мэв над фоном случайных совпадений, в то время как для α -группы 10,1 Мэв относительное количество совпадений от фона не отличается. Это обстоятельство указывает на возможное существование генетической связи между α -излучателями 9,4 и 9,7 Мэв и α -излучателями 8,35 - 8,60 Мэв.

Таблица

Совпадения импульсов от α -частиц с энергией 8,8 - 10,3 Мэв с импульсами от α -частиц с энергией 8,35 - 8,60 Мэв

| | Энергия первичных импульсов, Мэв | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 8,8 - 9,25 | 9,25 - 9,55 | 9,55 - 9,80 | 9,80 - 10,3 |
| Количество первичных импульсов N_1 | 149 | 15 | 8 | 18 |
| Количество совпадений N_2 | 19 | 5 | 5 | 2 |
| Отношение N_2/N_1 % | 13 | 33 | 62 | 11 |

Обсуждение

Анализируя результаты экспериментов по синтезу 105 элемента, выполненных с использованием двух существенно различных методик, следует отметить согласие данных о наблюдении α -излучателя 9,4 Мэв. Сопоставление данных о сечении образования этого α -излучателя, полученных в двух сериях экспериментов, позволяет оценить верхнюю (3 сек) и нижнюю (0,1 сек) границы его периода полураспада. Получено также указание на образование в аналогичных условиях α -излучателя с $E_\alpha = 9,7$ Мэв. Если период полураспада α -излучателя 9,7 Мэв превосходит 0,05 сек, то сечение его образования составляет $1 \cdot 10^{-34}$ см². Данные по временной корреляции импульсов указывают на возможное существование генетической связи α -излучателей 9,4 и 9,7 Мэв с α -излучателями, которые по энергии α -частиц сходны с изотопами ^{256,257}103.

Энергии α -частиц этих излучателей согласуются с тем, что предсказывается систематикой для изотопов ²⁶¹105 и ²⁶⁰105 ($Q_\alpha = 9,51$ и $9,80$ Мэв, соответственно ^{1/1/}). Величины сечений образования близки к тому, что ожидалось для реакций ²⁴⁸Am (²²Ne, 4-5n), если учесть, что отклонение эффективной энергии бомбардирующих ионов на 4-5 Мэв от значения, соответствующего максимуму функции возбуждения какой-либо из этих реакций, является вполне возможным. Периоды полураспада этих α -излучателей также, по-видимому, находятся в том диапазоне значений, которые можно считать реальными для изотопов ^{261,260}105. Временное распределение вторичных импульсов в энергетическом интервале (8,35-8,60 Мэв), пришедших после регистрации импульсов от α -частиц с энер-

гией 9,25 - 9,80 Мэв (т.е. от α -групп 9,4 и 9,7 Мэв), было следующим: 0-40 сек - 3; 41 - 80 сек - 5; 81 - 120 сек - 3; 121 - 160 сек - 0. Объединяя при этом в целях увеличения статистики α -группы 9,4 и 9,7 Мэв, мы учитываем сходство периодов полураспада изотопов $^{256}103$ и $^{257}103$. Видно, что временное распределение не противоречит предположению о существовании короткоживущей компоненты с периодом полураспада 30 - 40 сек, обуславливающей более половины актов распада. Таким образом, можно предположить, что α -излучатели с энергией 9,4 и 9,7 Мэв являются изотопами 105 элемента с массовыми числами 261 и 260. Основываясь на предсказываемом систематикой различии в энергиях α -распада изотопов $^{261}105$ и $^{260}105$, вероятнее всего рассматривать α -излучатель с энергией 9,4 Мэв как изотоп $^{261}105$, а излучатель 9,7 Мэв - как изотоп $^{260}105$.

Проделанные фоновые опыты позволяют исключить некоторые простые предположения о возможных источниках фона, которые могут обусловить образование α -излучателей с энергией 9,4 и 9,7 Мэв. Ясно, однако, что основным критерием достоверности идентификации этих α -излучателей как изотопов 105 элемента, является установление генетической связи с α -излучателями, характеристики которых аналогичны дочерним изотомам 103 элемента.

В связи с этим необходимо оценить, в какой степени данные по временной корреляции импульсов с энергией 9,4 и 9,7 Мэв с импульсами от α -частиц с энергией 8,35 - 8,60 Мэв согласуются с предположением о генетической связи между этими α -излучателями.

Как уже говорилось, в первой серии опытов с механическим переносом сборника ядер к детектору был зарегистрирован один случай совпадения импульса 9,4 Мэв с импульсом 8,6 Мэв в условиях, когда вероятность случайного совпадения подобных импульсов не превышала 3%. Во второй серии опытов было зарегистрировано пять случаев совпадений для α -излучателя с энергией 9,4 Мэв, однако при значительно большем уровне фона случайных совпадений.

Рассмотрим данные, полученные во второй серии опытов, более детально. При этом не будем разделять α -группы с энергией 9,4 и 9,7 Мэв, а проанализируем суммарно все импульсы, зарегистрированные в диапазоне энергий 9,25 - 9,8 Мэв. Такой подход позволяет существенно увеличить статистику, не снижая при этом ценности конечных выводов. Действительно, энергия бомбардирующих ионов выбиралась с целью одновременного синтеза двух изотопов 105 элемента, свойств дочерних продуктов у которых мы не можем различить. Именно в этой области энергий α -частиц ожидался эффект, связанный с α -излучением изотопов 105 элемента, а полученные данные позволяют предположить, что этот эффект наблюдается.

Всего в указанном энергетическом диапазоне было зарегистрировано 23 импульса, из которых десять совпали с импульсами энергией 8,35 - 8,60 Мэв. Как уже указывалось, фон случайных совпадений, определенный по всем импульсам с энергией 8,8 - 9,25 Мэв, зарегистрированным в этих же опытах, составляет $(13 \pm 3)\%$ от общего числа импульсов. Очевидно существенное превышение числа совпадений импульсов с энергией 9,25 - 9,80 Мэв над фоном (наиболее вероятное число случайных совпа-

дений таких импульсов - три). Такой результат, учитывая способ определения фона случайных совпадений, можно объяснить только двумя причинами: 1) наличием генетической связи между α -излучателями с энергией 9,25 - 9,80 Мэв и 8,35 - 8,60 Мэв; 2) статистической флуктуацией фона случайных совпадений импульсов с такой энергией. Однако вторая причина весьма маловероятна. Действительно, вероятность регистрации 10 импульсов в результате статистической флуктуации при числе испытаний, равном 23, когда наиболее вероятна регистрация трех импульсов, составляет $2 \cdot 10^{-4}$. Вероятность того, что наблюдаемый эффект объясняется статистической флуктуацией фона, можно охарактеризовать отношением вероятности регистрации десяти импульсов к наиболее высокой вероятности регистрации трех импульсов, что составляет $1 \cdot 10^{-3}$. Таким образом, достоверность вывода о наличии генетической связи весьма велика.

Существенно также, что относительное количество зарегистрированных совпадений (десять из общего числа импульсов 23) согласуется с тем, что следовало ожидать при наличии генетической связи и указанном уровне фона. Отношение числа истинных совпадений к общему числу первичных импульсов определялось главным образом геометрической эффективностью эксперимента. С учётом фона случайных совпадений относительное количество совпадений при наличии генетической связи должно составлять примерно 1/3 от общего числа импульсов, что достаточно хорошо согласуется с полученной величиной.

Рассмотренные данные говорят о наличии генетической связи между α -излучателями 9,4 и 9,7 Мэв и дочерними α -излучателями, свойства

которых согласуются с тем, что известно об изотопах ^{256, 257} 103.

Таким образом, можно сделать предварительный вывод о том, что в данных экспериментах наблюдался распад двух изотопов 105 элемента со следующими характеристиками: 1) $E_{\alpha} = 9,4 \pm 0,1$ Мэв; $0,1 < T_{1/2} < 3$ сек; 2) $E_{\alpha} = 9,7 \pm 0,1$ Мэв; $T_{1/2} > 0,01$ сек.

В настоящее время проводятся дальнейшие опыты для уточнения радиоактивных свойств изотопов 105 элемента с использованием более эффективной экспериментальной методики.

Авторы благодарны С.М.Поликанову за ряд полезных советов и дискуссии, а также коллективу сотрудников ускорителя многозарядных ионов во главе с Б.А.Загером, который обеспечил четкую работу ускорителя; Э.Г.Имаеву и В.Г.Субботину за помощь при наладке аппаратуры; С.А.Пикальнету, В.М.Плотко, Ю.В.Полубояринову, В.И.Крашонкину и Г.Я.Сун-Цзин-ян, помогавшим при подготовке и проведении опытов.

Л и т е р а т у р а

1. V.E.Viola, G.T.Seaborg, *J.Inorg. and Nucl. Chem.*, 28, N3, 697 (1966).
2. *New Scientist*, 35, 598 (1967).
3. Е.Д.Донец, В.А.Шеголев, В.А.Ермаков. *ЯФ*, 2, 1015 (1965).
4. Г.Н.Флеров. *Contributions International Conference on Nuclear Structure, Tokyo, 1967.*
5. Г.Н.Акапьев, А.Г.Демин, В.А.Друин, Э.Г.Имаев, И.В.Колесов, Ю.В.Лобанов, Л.П.Пашенко. *АЭ*, 21, 243 (1966).
6. Г.Н.Флеров, Г.Н.Акапьев, А.Г.Демин, В.А.Друин, Ю.В.Лобанов, Б.В.Фефилов. *Препринт ОИЯИ Р7-3556, Дубна 1967.*
7. Г.Н.Флеров, Ю.С.Короткин, В.Л.Михеев, М.Б.Миллер, С.М.Поликанов, В.А.Шеголев, *Nucl. Phys.*, A106, 476, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел

11 апреля 1968 года.

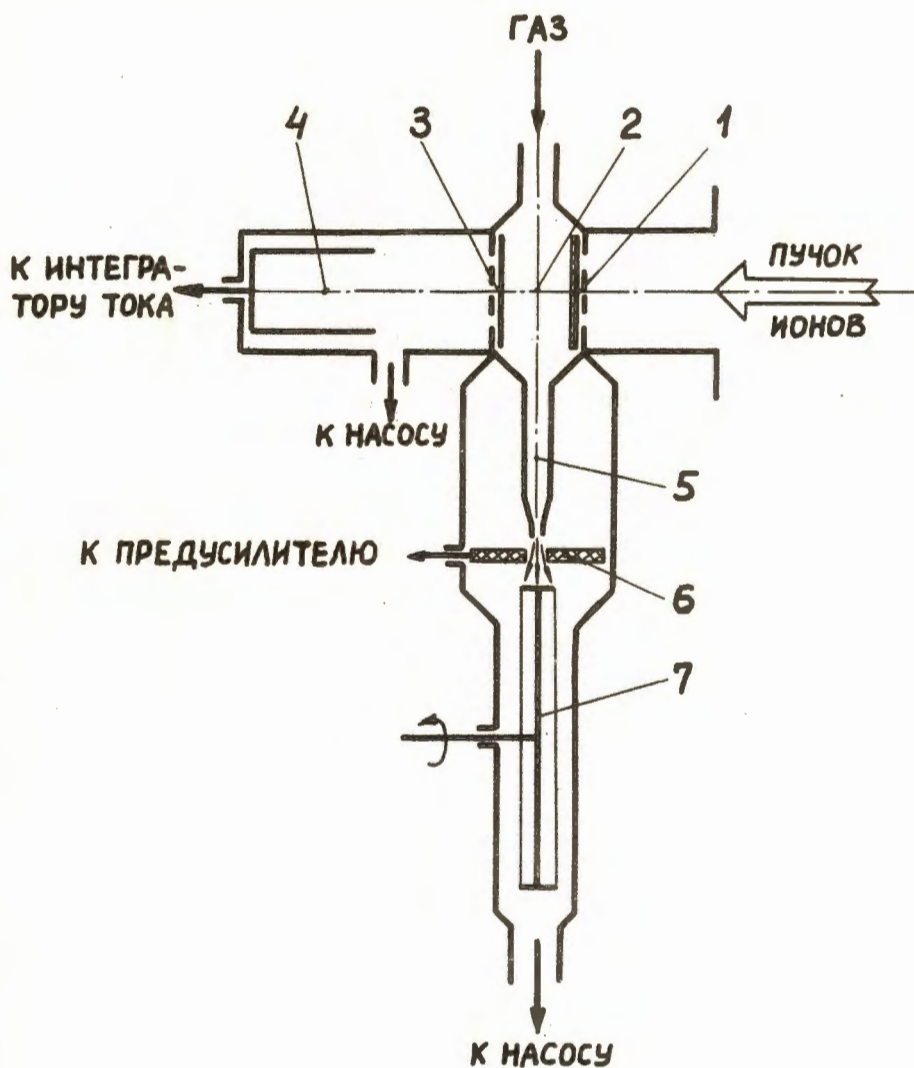


Рис. 1. Схема сбора ядер - продуктов реакций и регистрации α - частиц в опытах с кольцевым полупроводниковым детектором. 1 - мишень; 2 - газовый объем, в котором тормозятся продукты ядерных реакций; 3 - выходное окно камеры; 4 - цилиндр Фарадея; 5 - газопровод; 6 - кольцевой детектор; 7 - вращающийся диск.

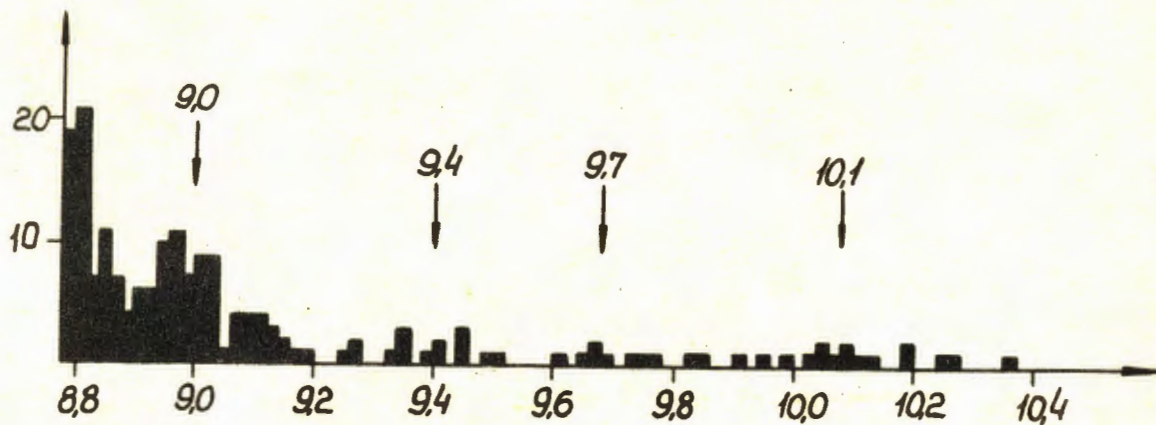


Рис. 2. Спектр α -частиц, полученный в опытах с неподвижным сборником ядер. По оси абсцисс - энергия α -частиц в Мэв, по оси ординат - число импульсов в канале, ширина которого составляла ≈ 20 кэв.