

5353

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

СОВЕТСКИЙ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
АКАДЕМИИ
НАУК
ДУБНА

P13 - 5353

И.В. Колесов, Ю.В. Лобанов, В.М. Плотко

УСТАНОВКА
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ α -АКТИВНЫХ ЯДЕР -
ПРОДУКТОВ РЕАКЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

5370

Установка для изучения α -активных ядер-
продуктов реакций с тяжелыми ионами

В статье описывается установка для изучения α -активных короткоживущих продуктов ядерных реакций с тяжелыми ионами. Ядра отдачи после торможения в газе собираются на волокнистых фильтрах, через которые проходит газовый поток (коэффициент сбора 40-70%), и периодически переносятся к 2 парам Si-Au детекторов. Движение сборников осуществляет пневматический привод. Минимальное время переноса 0,02 сек.

Установка дает возможность регистрировать два последовательных α -распада (материнского и дочернего ядер).

Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1970

Kolesov I.V., Lobanov Yu.V., Plotko V.M.

P13-5353

An Apparatus for Investigation of α -Active Nuclei -
the Products of the Reactions with Heavy Ions

An apparatus is described meant for investigation of α -active short-lived products of nuclear reactions induced by heavy ions. Recoil nuclei after stopping in a gas are collected on the fibrous filters, passed through by a gas stream (the collection coefficient is 40-70%) and are transferred, periodically, to two pairs of Si-Au detectors. The collectors are operated by pneumatic drive. The minimal transfer time is 0.02 s. The apparatus has the possibility of recording two series α -decays (parent and daughter nuclei).

P13 - 5353

И.В. Колесов, Ю.В. Лобанов, В.М. Плотко

УСТАНОВКА
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ α -АКТИВНЫХ ЯДЕР -
ПРОДУКТОВ РЕАКЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

В проблеме синтеза и исследования свойств трансурановых элементов большое значение имеет совершенствование физических экспериментальных установок. Как следует из систематик α -распада и спонтанного деления^{1/}, времена жизни изотопов с ростом порядкового номера (Z) резко уменьшаются. Кроме того, в процессе синтеза ядер в трансурановой области велика вероятность деления, в результате которого вместо, например, фермия ($Z = 100$) получаются два изотопа с числом протонов около 50. Это приводит к резкому уменьшению сечений образования исследуемых изотопов $(10^{-31} + 10^{-33} \text{ см}^2)^{2,3/}$. И, наконец, ситуация значительно осложняется наличием фона. Хорошо известно, что кроме реакции полного слияния ускоренных ионов и ядер мишени с последующим испарением X нейтронов (I, xp), со значительной вероятностью протекают ядерные реакции неполного слияния ($I, \pm ur, \pm xp$), в результате чего образуются продукты, свойства распада которых иногда близки к свойствам исследуемых изотопов.

Учёт перечисленных выше обстоятельств обуславливает следующие требования к создаваемым экспериментальным установкам.

1. Достаточное быстродействие. Необходимо за минимальное время ($< 0,1$ сек) синтезируемые ядра доставить от мишени к детекторам, регистрирующим их распад.

2. Высокая эффективность. Требуется собрать и доставить к детекторам большую часть образовавшихся ядер.

3. Способность измерения в широких пределах амплитудных и временных характеристик излучения продуктов реакций и регистрации последовательных α -распадов материнского и дочернего ядер с целью установления генетической связи двух α -излучателей.

Целью настоящей работы явилось создание аппаратуры, предназначенной для изучения α -активных изотопов. Данная установка изготовлена в Лаборатории ядерных реакций и испытана на выведенном пучке тяжелых ионов 310-сантиметрового циклотрона. На установке ведутся физические эксперименты по изучению α -распада трансураниевых элементов^{/4/}.

Отделение продуктов ядерных реакций от материала мишени при использовании ускоренных тяжелых ионов происходит за счёт импульса, передаваемого составному ядру налетающей частицей. Основные методы сбора ядер отдачи освещены, например, в работах^{/5,3/}. В настоящей установке ядра отдачи собирались на специальные тонкие волокнистые фильтры,^{/6/} размещенные в потоке газа, откачиваемого из объема реакционной камеры. Этот метод впервые предложен Фридманом^{/7/}, а отдельные вопросы данного способа сбора ядер отдачи освещены в работе Друина и др.^{/8/}. Ядра, собираемые на фильтрах, механически перемещались поочередно к двум парам полупроводниковых детекторов. Импульсы с детекторов через предусилители и усилители подавались на многоканальный трехмерный анализатор, в котором имеется блок автоматики^{/9/}.

Ниже дано описание установки (часть I), а некоторые экспериментальные результаты, полученные на ней, приведены во второй части данной работы.

I. Устройство установки

Общий вид установки показан на рис. I.

Установку можно разделить на 5 частей (рис. II).

А. Реакционная камера.

Б. Камера со сборниками и детекторами.

В. Система циркуляции газа.

Г. Привод движения сборников.

Д. Электронная аппаратура^{/9/} (на рис. II не показана).

Рассмотрим назначение и особенности первых 4 частей установки.

А. Реакционная камера (рис. III) служит для размещения мишени, торможения ядер отдачи, выбиваемых из мишени, и содержит цилиндр Фарадея, измеряющий поток ионов. Пучок ускоренных ионов проходит через вакуумно-плотную алюминиевую фольгу толщиной 0,010-0,015 мм (III-2), отделяющую объем реакционной камеры (III-4) от объема ионопровода. Фольга приклеена на входной медной решетке (III-1). Далее пучок ионов попадает в мишень (III-3). Вещество мишени нанесено на тонкую алюминиевую фольгу-подложку. Мишень для лучшего охлаждения зажата между двумя притертыми друг к другу медными решетками, которые образуют кассету, укрепленную на охлаждаемом корпусе входной решетки. Входная решетка и решетки мишени выполнены сверлением соосных отверстий диаметром 2,2 мм (прозрачность \approx 65%). Толщина прижимной решетки кассеты мишени может варьироваться, что обеспечивает различную коллимацию ядер отдачи/10/.

Выбиваемые ядра тормозятся в цилиндрической камере (III-4), заполненной газом. Размеры камеры влияют на время выноса ядер отдачи и на количество диффундировавших на ее стенки продуктов. Диаметр камеры 20 мм, длина ее, т.е. расстояние от мишени до выходной фольги (III-5), - 22-30 мм. При этом объем камеры равнялся 7-9,4 см³.

Время выноса ядер при объеме камеры 9,4 см³ при использовании фильтров без подложки и с двумя никелевыми сетками составляло 9 мсек, а при использовании фильтров с бумажной подложкой и с двумя никелевыми сетками - 17 мсек.

Пройдя через мишень и реакционную камеру, пучок ионов попадал в цилиндр Фарадея (III-7), который охлаждался водой и располагался в вакуумном объеме.

Б. Камера со сборниками и детекторами конструктивно выполнена в одном корпусе (III-8) с реакционной камерой и предназначена для улавливания на сборники (III-12) продуктов реакций из газовой струи и переноса собранных ядер к детекторам (III-14).

В настоящей установке предусмотрен следующий цикл работы. Один из фильтров-сборников определенное время находится в потоке газа, собирая ядра. Затем за короткое время этот сборник перемещается к одной

паре детекторов, где производится регистрация распада собранных ядер, а сбор продуктов реакций производится на другом фильтре. После этого первый сборник перемещается от детекторов к газовому потоку, а второй сборник, на котором накопились ядра-продукты, — ко второй паре детекторов.

В качестве сборников использовались волокнистые фильтрующие материалы типа ЛФС-2. Эти фильтры обладают исключительно высокой стабильностью захвата аэрозолей (продуктов реакций) из газового потока. Фильтры-сборники (III-12), вырезанные из материала ЛФС-2, для увеличения прочности закладывались между двумя никелевыми сетками с прозрачностью 60-85%, устанавливались в ячейки рейки-держатели (III-11) и крепились пружинными замками. В рейке-держателе одновременно размещалось 3 пары рабочих фильтров. В работе участвует одна пара, а остальные являются запасными на случай выхода из строя 1-ой пары. Кроме того, наличие трех пар фильтров позволяет избавляться от долгоживущего фона, если их периодически передвигать вместе с рейкой (III-11) и приводом (II-25) по определенному циклу с помощью специального механизма (II-26).

Рейка-держатель (III-11), служащая для переноса фильтров-сборников к детекторам, изготовлена из стали и покрыта слоем хрома. Трущиеся поверхности ее тщательно отполированы. Рейка уплотнялась с корпусом (III-8), чтобы не допускать утечки газа мимо фильтров, влияющей на величину коэффициента сбора ядер. В результате испытаний различных материалов в качестве уплотнения была выбрана медно-графитовая втулка (букса) (III-10), которая перед постановкой в камеру откачивалась до 10^{-2} ммрт.ст. и кипятилась в диффузионном масле. Такая букса создавала надежное уплотнение с рейкой и обеспечивала непрерывную работу в течение нескольких суток с частотой движения 10 циклов в секунду (утечка газа мимо фильтров не превышала 10%).

Рейка-держатель соединялась при помощи штока (III-25) с механическим приводом, расположенным вне камеры на направляющих тележки. Уплотнение штока решено путем дифференциальной откачки из промежуточного кармана уплотнительной втулки (III-19), в которой движется шток (зазор между втулкой и штоком делается минимально возможным). Откачка производится с такой скоростью, чтобы давление в кармане было несколько ниже

(на 5-10 мм рт.ст.), чем давление в камере с детекторами. Уплотнительная втулка выполнена из древесно-слоистого пластика, пропитанного в вакууме диффузионным маслом. Быстродействующий зажим (III-18) позволяет быстро менять рейки с фильтрами.

Для регистрации α -частиц использовались 2 пары полупроводниковых Si-Au детекторов (III-14). Чувствительная площадь каждого детектора 2,5 см². Расстояние от сборника до поверхности детектора 3,5 мм. Геометрическая эффективность детекторов 30-33%. Обе пары детекторов находятся на расстоянии 120 мм друг от друга, симметрично относительно выходящего из реакционной камеры газового потока. Для калибровки детекторов к ним подносится специальным устройством (III-20) эталонный источник α -частиц.

Во время эксперимента камера (рис. III) подвешивается на ионопроводе, а поддерживающие ее стойки опускаются. Привод (II-Г) остается на тележке. Это значительно уменьшает передачу вибраций от механического привода на камеру, что особенно важно для детекторов при регистрации редких событий.

В. Система циркуляции газа (рис. II) предназначена для создания определенного давления в реакционной камере (II-11) и обеспечения направленного потока газа, с которым переносятся ядра-продукты реакций к сборникам (II-16). Эта система содержит замкнутый трубопровод (II-8), где циркуляция газа осуществляется герметизированным форвакуумным насосом ВН-1 (II-20).

В системе имеются фильтр очистки от радиоактивности (II-19), маслоотбойник и фильтр предварительной очистки (II-21), ловушка (II-5) для вымораживания влаги и других примесей и фильтр тонкой очистки (II-6). Фильтр (II-6), изготовленный подобно фильтру, описанному в работе^{6/}, состоит из 4 слоев ткани ФПП-15 и помещен в герметизированный объем, который, в свою очередь, находится в сосуде с жидким азотом (II-7).

Кроме того, в системе имеется баллон со сжатым азотом, из которого через электромагнитный клапан (II-1), управляемый сигналами электроконтактного вакуумметра (II-2), производится добавление газа в циркуляционную систему. Это необходимо для компенсации откачиваемого газа через дифференциальное уплотнение (II-23) штока рейки.

Выбор нужных параметров при запуске, а также контроль за работой циркуляционной системы осуществляется с помощью ротаметра (II-4), электроконтактных вакуумметров (II-2) и электроконтактного дифференциального вакуумметра (II-14), измеряющего перепад давления на фильтре (II-16). По показанию дифференциального вакуумметра можно судить о состоянии фильтров. Сигналы электроконтактных вакуумметров выводятся на пульт управления.

Г. Привод движения сборников (II-Г) предназначен для периодического перемещения фильтров с собранными ядрами от места сбора к детекторам и обратно. Движение осуществляется при помощи пневматического привода, состоящего из цилиндра с поршнем (II-25) и воздухораспределителя (II-28). При вращении двигателем (II-29) золотника воздухораспределителя сжатый воздух периодически направляется в одну из полостей цилиндра и поршень совершает возвратно-поступательное движение с выстоем в крайних положениях.

Быстродействие пневмопривода достигается в результате подвода воздуха через каналы большого сечения и быстрого выхода воздуха из опорожняемой полости цилиндра в балластный объем и далее через дроссель в атмосферу. В конце хода поршня давление воздуха в балластном объеме и опорожняемой полости цилиндра повышается, так как воздух не успевает выйти через дроссель. Поршень быстро тормозится, и сильного удара не происходит. Изменяя величину балластных объемов и регулируя открытие дросселей, можно подобрать оптимальные условия работы пневмопривода по быстродействию и вибрациям.

Дополнительный двигатель (II-30) служит для установления рейки с фильтрами (III-II) в одно из положений и точной ее остановки с целью регистрации α -распада дочернего ядра, что требуется при работе установки в режиме регистрации двух последовательных α -распадов продуктов ядерных реакций (время стоянки задается электронной схемой). Оба двигателя управляются блоком автоматики и имеют роликовые муфты обгона, позволяющие двигателям независимо друг от друга вращать золотник. Датчиками крайних положений поршня (II-31) служат фотодиоды, освещаемые лампочками, свет которых перекрывается флажком на штоке поршня.

Регулируя скорость вращения золотника, можно менять время выстоя поршня, а, следовательно, и сборников ядер отдачи в крайних положениях. Время перемещения поршня при этом меняется незначительно. Режимы работы пневмопривода настоящей установки приведены в следующей таблице.

Характеристика	Режим работы пневмопривода					
	1	2	3	4	5	6
Время движения поршня в одну сторону ($t_{дв.}$), сек	0,020	0,022	0,030	0,035	0,045	0,050
Время выстоя поршня в одном положении ($t_{ст.}$), сек	0,063	0,074	0,185	0,460	0,850	2,450
Величина рабочего цикла ($t_{ц} = t_{дв} + t_{ст}$), сек	0,083	0,096	0,215	0,495	0,895	2,500
Эффективность режима ($\frac{t_{ст}}{t_{ц}} \cdot 100$)	76%	77%	86%	93%	95%	98%

Режим №6 достигается при непрерывном вращении золотника дополнительным двигателем. Кроме того, для изучения долгоживущих ядер предусмотрена возможность с помощью электроники изменять время стоянки поршня в широких пределах (от 10 до 1000 сек), а время движения его остается равным 0,05 сек.

В качестве иллюстрации на рис. IV приведен график движения поршня (сборников) в режиме №1.

Выбор режима работы пневмопривода производится в зависимости от периода полураспада изучаемых продуктов ядерных реакций. (Как правило, время регистрации составляет 3-5 периодов полураспада исследуемого изотопа). При этом следует учитывать временную эффективность, связанную с распадом и накоплением продуктов на сборнике. На рис. V приведена временная эффективность ($\eta_{вр}$) в зависимости от периода полураспада для некоторых режимов работы установки.

Эффективность рассчитана по формуле:

$$\eta_{\text{вр}} = \frac{e^{-\lambda(t_{\text{в}} + t_{\text{дв}})} (1 - e^{-\lambda t_{\text{ст}}})^2}{\lambda(t_{\text{дв}} + t_{\text{ст}}) [1 - e^{-2\lambda(t_{\text{дв}} + t_{\text{ст}})}]}$$

где $\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$ - постоянная распада ($T_{1/2}$ - период полураспада);

$t_{\text{в}}$ - время выноса ядер отдачи газом из реакционной камеры; $t_{\text{дв}}$ - время движения фильтра от места сбора к детекторам; $t_{\text{ст}}$ - время стоянки сборников, равное времени измерения (накопления).

Из графика видно, что с уменьшением периода полураспада изучаемых продуктов уменьшается временная эффективность.

II. Экспериментальные результаты

На выведенном пучке 310-сантиметрового циклотрона проведены контрольные опыты по определению основных характеристик настоящей установки. Во всех опытах в качестве сборников ядер отдачи использовались волокнистые фильтры ЛФС-2 со следующими характеристиками: а) сопротивление 1,9 мм водяного столба при скорости 1 см/сек; б) диаметр волокон 0,3 мкм; в) весовая плотность фильтрующего слоя 0,15-0,23 мг/см².

Одним из основных параметров экспериментальных установок является коэффициент сбора, т.е. отношение числа ядер, собранных на сборнике (фильтре), к полному числу ядер, выбитых из мишени. В данной установке коэффициент сбора измерялся по α -активным продуктам $^{150,151}\text{Dy}$ и ^{149}Tb , образующимся в ядерных реакциях $^{142}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 3-4n)$ $^{151, 150}\text{Dy}$; $^{138}\text{Ba} (^{20}\text{Ne}, 7-8n)$ $^{151, 150}\text{Dy}$ и $^{141}\text{Pr} (^{12}\text{C}, 4n)$ ^{149}Tb .

Чтобы исключить погрешность, связанную с измерением тока пучка, одна часть ядер отдачи собиралась на фильтре, а другая часть вбивалась в сборник, расположенный в непосредственной близости от мишени. Роль сборника, в который вбивалась определенная часть ядер, выполняли никелевая сетка или перфорированная алюминиевая фольга. После короткого (5-10 мин) облучения количество ядер, собранных на фильтре и вбитых в сборник, определялось по счёту α -частиц. По соотношению зарегистрированных α -частиц с этих двух сборников рассчитывался коэффи-

коэффициент сбора, значение которого в разных опытах составляло 40–70%. Заниженное значение коэффициента сбора ядер отдачи на фильтре частично объясняется диффузией продуктов реакций на стенки реакционной камеры и некоторой утечкой газа. Дополнительно изучался сбор ядер отдачи при прокачивании газа через никелевые сетки (вместо ЛФС-2). Коэффициент сбора оказался, как и следовало ожидать, зависящим от прозрачности сеток-сборников и равнялся $2 \pm 0,5\%$; $6 \pm 1\%$ и $15 \pm 5\%$, при этом прозрачности были 82%, 56% и 22% соответственно.

Все измерения коэффициента сбора проводились при оптимальном давлении в реакционной камере. При этом давлении средний пробег продуктов реакций заканчивался вблизи отверстия, через которое откачивался газ. Значения пробегов ядер отдачи рассчитывались по формуле Фирсова^{/11/}. С целью проверки расчётов экспериментально измерена зависимость сбора ядер отдачи от давления газа в реакционной камере (в наших опытах всегда использовался азот). Эта зависимость для реакции $^{197}\text{Au}(^{22}\text{Ne}, 5-6n)^{214,213}\text{Ac}$ при энергии ионов ^{22}Ne , равной 120 Мэв, представлена на рис. VI.

Такой вид кривой обусловлен тем, что при малых давлениях средний пробег превышает длину камеры и часть ядер отдачи вбивается в заднюю стенку камеры, а уменьшение выхода при больших давлениях связано с диффузией продуктов реакций на стенки камеры вблизи мишени. Некоторое отличие кривой на рис. VI от измеренной в работе^{/8/} вызвано тем, что в наших опытах использовалась "толстая" мишень – 0,9 мг/см².

Для практических целей важно установить, каков механизм фильтрации ядер отдачи, а также какова зависимость коэффициента фильтрующего действия от скорости фильтрации. Известно, что в зависимости от размера частиц аэрозолей, с которыми осаждаются исследуемые ядра, и скорости газа коэффициент фильтрующего действия имеет минимум^{/6/}, что приводит к уменьшению коэффициента сбора. Поэтому исследовалась зависимость коэффициента сбора от скорости проходящего газа. Измерения проводились с атомами отдачи $^{214,213}\text{Ac}$, которые образуются в ядерных реакциях под действием тяжелых ионов. На рис. VII представлена зависимость коэффициента сбора фильтром ЛФС-2 от линейной скорости прокачиваемого газа. Из анализа этой зависимости можно сделать предположение, что фильтрация

ядер отдачи происходит в основном с помощью инерционного механизма^{/6/}, и размеры частиц аэрозолей не превышают 0,2 мкм.

С целью полной проверки настоящей установки изучались следующие ядерные реакции: $^{197}\text{Au} (^{22}\text{Ne}, 5-6\text{n}) ^{214, 218}\text{Ac}$; $\text{Pb} + ^{22}\text{Ne}$; $^{238}\text{U} (^{16}\text{O}, 6\text{n}) ^{248}\text{Fm}$ и $^{242}\text{Pu} (^{16}\text{O}, 4\text{n}) ^{254}102$.

Для продуктов этих реакций измерены как энергетические, так и временные характеристики α -распада. Получено хорошее согласие с описанными ранее свойствами этих изотопов. Измеренные сечения образования ^{248}Fm и $^{254}102$ тоже согласуются со значениями, определенными на других установках, что показывает правильность расчетов в определении полной эффективности установки.

Для иллюстрации на рис. VIII приведен один из амплитудных спектров α -частиц продуктов реакции $\text{Pb} + ^{22}\text{Ne}$ с детектора, расположенного со стороны газового потока (энергия ионов ^{22}Ne - 105 Мэв, цикл движения: 45 мсек-движение, 850 мсек-стоянка). Ширина α -линий на полувывоте около 50 кэв является суммарным энергетическим разрешением, которое обусловлено собственным разрешением детектора (30 кэв), геометрией опыта, влиянием газа, находящегося между фильтром и детектором, и влиянием фильтра-сборника. В специальных опытах определено, что вклад фильтров ЛФС-2 в энергетическое разрешение $E_\alpha = 5$ Мэв не превышает 30 кэв.

Созданная установка для исследования короткоживущих продуктов ядерных реакций на пучке тяжелых ионов имеет следующие характеристики.

1. Коэффициент сбора ядер-продуктов - 40-70%.
2. Время выноса ядер из реакционной камеры - 0,010-0,017 сек.
3. Наименьшее время перемещения сборников от места сбора к детекторам - 0,02 сек.

Настоящая установка вместе с электронной аппаратурой может измерять в широких диапазонах амплитудные и временные характеристики распада продуктов реакций.

Установка дает возможность регистрировать последовательные α -распады материнского и дочернего ядер.

При изучении относительно долгоживущих продуктов ядерных реакций ($T_{1/2} > 0,1$ сек)^{4/} в установку внесены некоторые изменения, которые несколько увеличивают время сбора ядер отдачи, но улучшают другие характеристики. Реакционная камера и камера со сборниками и детекторами разнесены на расстояние 250 мм. Это значительно улучшило условия работы полупроводниковых детекторов при незначительном уменьшении коэффициента сбора. Увеличение диаметра реакционной камеры до 50 мм (вместо 20 мм) позволило уменьшить диффузию ядер на стенки камеры.

В заключение авторы выражают благодарность академику Г.Н. Флерову и В.А. Друину за постановку задачи, обсуждения и советы; В.А. Чугрееву, В.Н. Покровскому, В.Т. Степанову и А.А. Гринько за помощь в изготовлении установки; Г.И. Ковалю, С.А. Пикальнети, проводившим сборку и наладку, а также Г.Н. Акапьеву, Ю.П. Харитонову, А.Г. Демину, Н.К. Скобелеву, Г.Я. Сун Цзин-Ян, Ю.В. Полубояринову и В.И. Крашонкину за помощь в наладке аппаратуры и проведении контрольных опытов.

Литература

1. V.E. Viola, G.T. Seaborg. *J. Inorg. and Nucl. Chem.*, 28, 697 (1966);
V.E. Viola, B. Wilkins. *Nucl. Phys.*, 82, 65 (1966).
2. Е.Д. Донец, В.А. Шеголев. Препринт ОИЯИ Р7-3835, Дубна, 1968.
3. Г.Н. Флеров, В.А. Друин, А.А. Плева. УФН, 100, В.1, 45 (1970).
4. В.А. Друин, А.Г. Демин, Ю.П. Харитонов, Г.Н. Акапьев, В.И. Рудь,
Г.Я. Сун Цзин-Ян, Л.П. Челноков, К.А. Гаврилов. Препринт ОИЯИ,
Р7-5161, Дубна, 1970.
5. В.Л. Михеев. ПТЭ, №4, 22 (1966).
6. И.В. Петрянов, В.И. Козлов, П.И. Басманов, Б.И. Огородников. Волокнистые фильтрующие материалы ФП, Знание, Москва, 1968.
7. A.M. Friedman, W.C. Mohr. *Nucl. Instr. and Meth.*, 17, 78 (1962).
8. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Г.Я. Сун Цзин-Ян. Препринт ОИЯИ, 13-3975,
Дубна, 1968.
9. B.V. Fefilov, L.P. Chelnokov. *Proceedings Ispra Nuclear Electronics Symposium*, May, 6-9, 1969, EVRATOM, p.259.

10. В.А. Друин, Ю.В. Лобанов, Ю.П. Харитонов. Препринт ОИЯИ Р7-4681, Дубна, 1969.
11. О.Б. Фирсов. ДАН СССР, 91, 515 (1953).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 августа 1970 года.

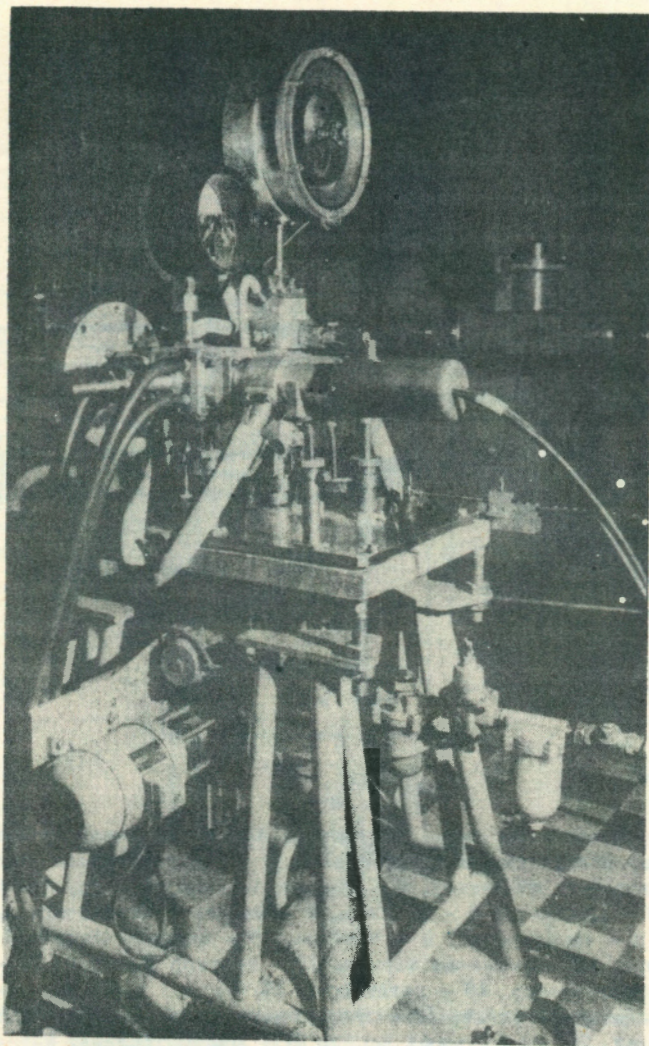


Рис. 1. Общий вид установки.

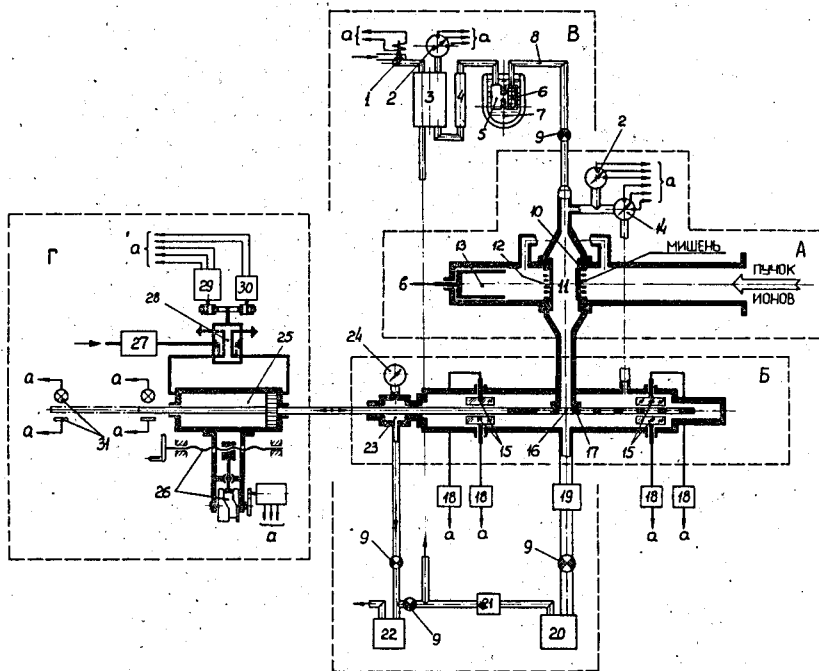


Рис. II. Функциональная схема установки. А - реакционная камера, Б - камера со сборниками и детекторами, В - циркуляционная система, Г - привод движения сборников, 1 - клапан, 2 - вакуумметр, 3 - балластный объем, 4 - ротаметр, 5 - ловушка, 6 - фильтр тонкой очистки, 7 - сосуд Дьюара, 8 - трубопровод, 9 - вентиль, 10 - входная фольга, 11 - реакционная камера, 12 - выходная фольга, 13 - цилиндр Фарадея, 14 - дифференциальный вакуумметр, 15 - детекторы, 16 - рейка с фильтрами-сборниками, 17 - уплотнение рейки, 18 - предусилители, 19 - фильтр предварительной очистки, 20 - вакуумный насос, 21 - маслоотбойник, 22 - насос откачки дифференциального уплотнения, 23 - дифференциальное уплотнение, 24 - вакуумметр, 25 - пневматический привод, 26 - механизмы смещения рейки с фильтрами, 27 - система подготовки воздуха, 28 - воздухораспределитель, 29 - основной двигатель воздухораспределителя, 30 - двигатель доводки, 31 - датчик положения сборников, а и б - электрические цепи соответственно к пульту управления и к интегратору тока.

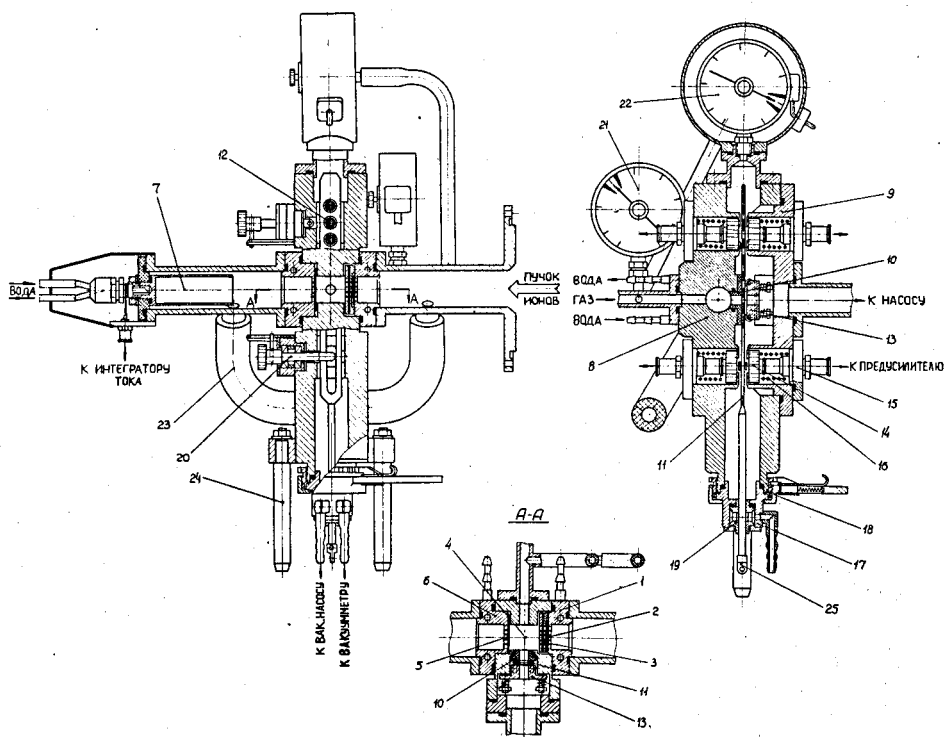


Рис. III. Реакционная камера и камера со сборниками и детекторами. 1 - входная решетка, 2 - входная фольга, 3 - мишень, 4 - реакционная камера, 5 - выходная решетка, 6 - выходная фольга, 7 - цилиндр Фарадея, 8 - корпус, 9 - крышка, 10 - бужа уплотнительная, 11 - рейка-держатель фильтров, 12 - фильтр-сборник, 13 - прижимная каретка, 14 - детектор, 15 - разъем вакуумный, 16 - пружина, 17 - шлюз, 18 - быстродействующий зажим, 19 - уплотнительная втулка, 20 - устройство для калибровки детектора, 21 - электроконтактный вакуумметр, 22 - дифференциальный вакуумметр, 23 - шланг для откачки объема с цилиндром Фарадея, 24 - направляющая, 25 - серьга для соединения с пневмоприводом.

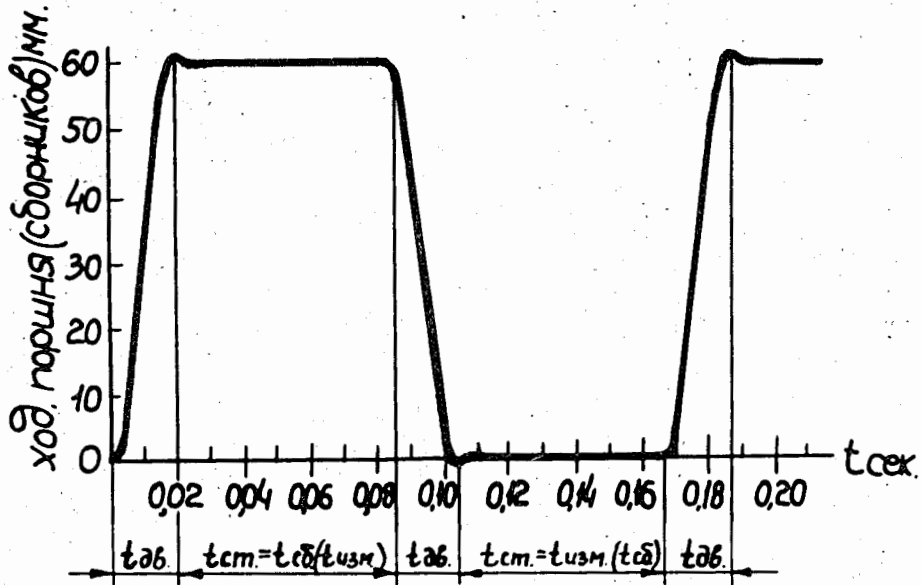


Рис. IV. График движения поршня (сборников) в режиме №1 ($t_{дв} = 0,020$ сек, $t_{ст} = 0,063$). $t_{дв}$ - время движения сборников, $t_{ст}$ - время стоянки сборников, $t_{сб}$ - время сбора ядер отдачи, $t_{изм}$ - время измерения.

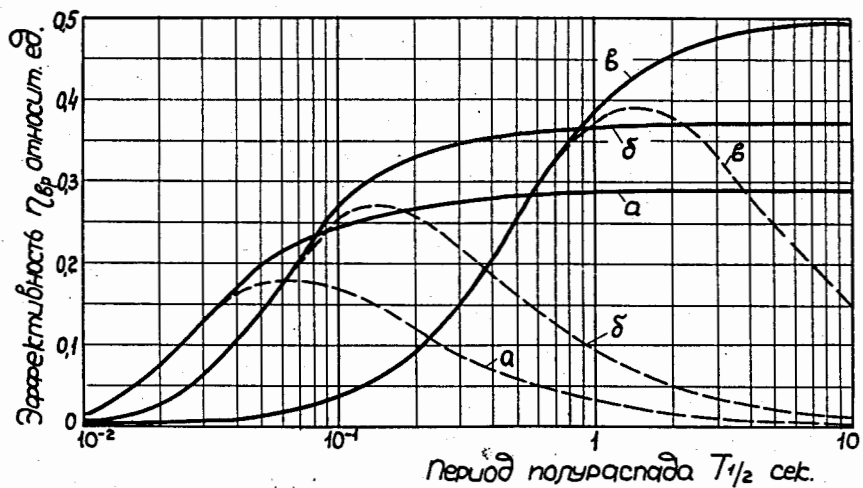


Рис. V. Временная эффективность двух фильтров-сборников в зависимости от периода полураспада исследуемых ядер: а - режим №1 ($t_{в} = 0,017$ сек, $t_{дв} = 0,020$ сек, $t_{ст} = 0,063$ сек); б - режим №3 ($t_{в} = 0,017$ сек, $t_{дв} = 0,030$ сек, $t_{ст} = 0,185$ сек); в - режим №6 ($t_{в} = 0,017$ сек, $t_{дв} = 0,050$ сек, $t_{ст} = 2,45$ сек). Штриховыми линиями показана эффективность без учёта накопления продуктов на сборниках за многие циклы.

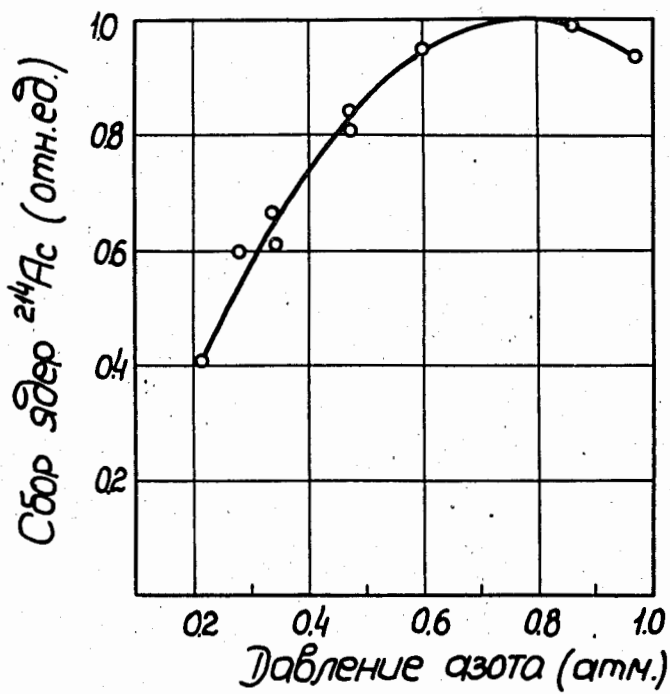


Рис. VI. Зависимость сбора ядер отдачи от давления газа в реакционной камере.

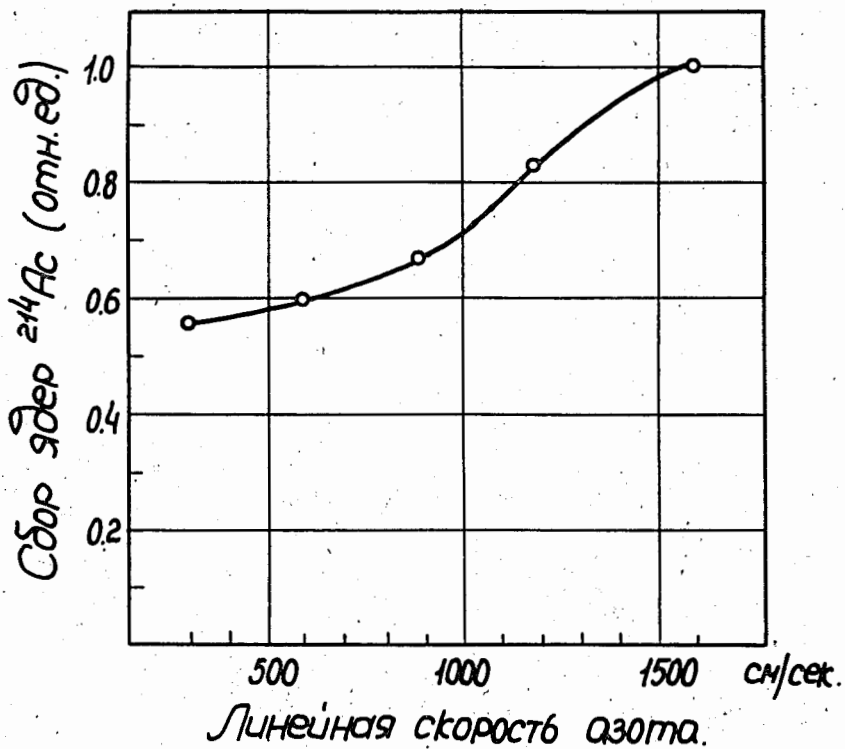


Рис. VII. Зависимость коэффициента сбора (который пропорционален коэффициенту фильтрующего действия) от линейной скорости фильтрации.

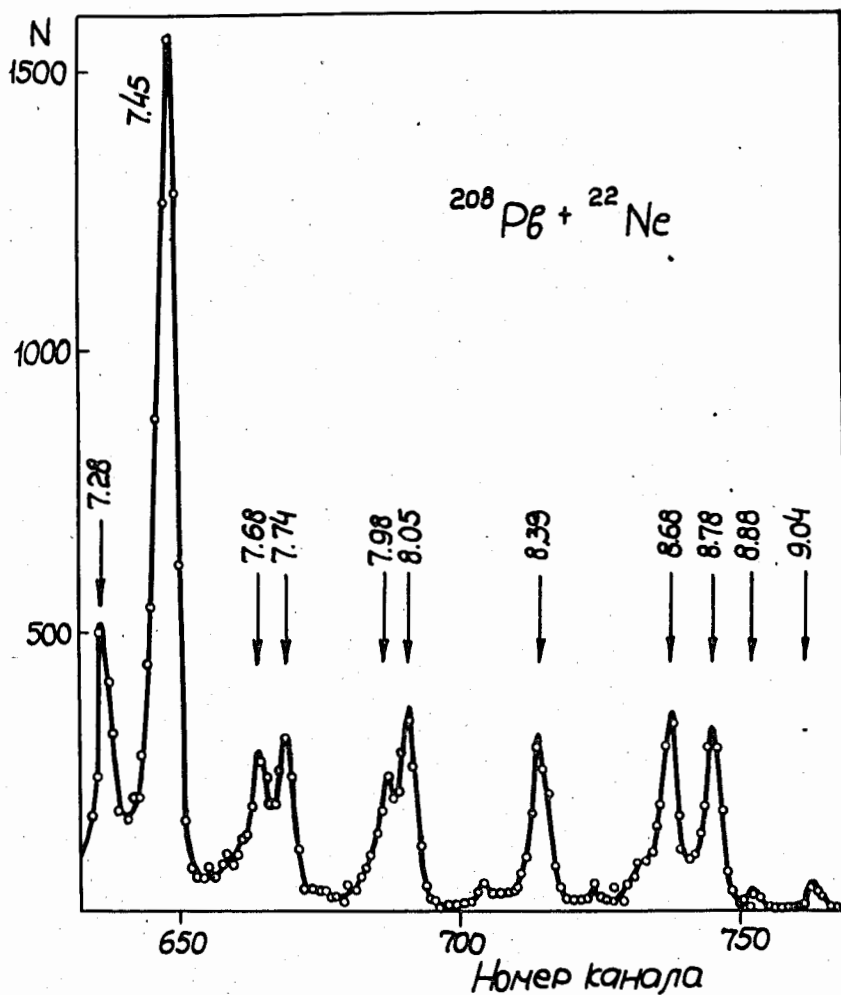


Рис. VIII . Амплитудный спектр α -частиц продуктов реакций $\text{Pb}^{208} + \text{Ne}^{22}$.
 Время движения сборника равно 0,045 сек, время стоянки - 0,850 сек.